

صلاح الدين طليب

السيبرنطيقا أحدث علوم القرن العشرين

١ - ما هي السيبرنطيقا ؟

الآلات والأعصاب :

ما هو الفرق بين آلات الثورة الصناعية الأولى وآلات الثورة الصناعية الثانية ؟ يقول بولانجييه G. R. Boulanger رئيس الاتحاد الدولي للسيبرنطيقا : « كانت مهمة التنسيق متروكة للإنسان ، وفي المستقبل سوف تتسرك لآلة نفسها ، وهذه هي الأهمية الحقيقية للثورة الصناعية الثانية واختلافها الأساسي عن ميكنة القرن التاسع عشر » (١) ويقول جري وولتر Grey Walter مدير معهد الأعصاب في برستول « كان لآلات الثورة الصناعية الأولى عضلات ، ولكن لم يكن لها أعصاب » . ومؤدى هذا الكلام كله ان آلات الثورة الصناعية الثانية من نوع جديد تماماً ، جاء ليفتصب بعضاً من وظائف الجهاز العصبي للإنسان . ولكن ما هي وظائف هذا الجهاز ؟

يعمل الجهاز العصبي للإنسان في خدمته طول الوقت بطرق مختلفة . فهو يقوم بدور الحارس له ، ويجمع المعلومات عن العالم خارجه ، كما يجمعها عما هو بداخله ، ويعالج كل هذه

المعلومات من أجل الاستعمال الفوري أو الاستعمال في المستقبل . وهو مركز عام للاتصالات . وهو « مركز القيادة » الذي يقوم باتخاذ القرارات في كل شيء يقوم به الجسم .

وبالرغم من أن هناك كثيراً من الأسرار التي تحيط بالجهاز العصبي للإنسان (وغيره من الكائنات الحية) فإن معلوماتنا عنه تزداد كل يوم . وهناك كثير من الأسرار التي كشفت ، كما أن هناك ولا شك أسراراً أخرى كثيرة في طريقها إلى الاكتشاف . ولا يقتصر هذا الكلام على علم الأعصاب وحده . فربما كان أكبر تقدم ينتظر الإنسان في المجالات المختلفة للعلم هو ما سيكون في ميادين البيولوجيا . فالتكنولوجيا الحديثة تعطي أدوات متزايدة الكمال للعمل في تجارب العلوم البيولوجية (مثل الميكروسكوبات الإلكترونية ، ورسمات المخ الكهربية ، والأجهزة فوق الصوتية ، وغيرها) مما يسمح باستخدام طرق متزايدة الدقة لمتابعة العمليات التي تحدث في الكائنات الحية . وهكذا نجد ازدياداً مستمراً في وضوح رؤيتنا للعلاقة بين سلوك الكائنات الحية وتركيبها . ومما نعلمه الآن مثلاً عن الجهاز العصبي أنه يستخدم في نقل المعلومات ، عبر الأعصاب ، طريقة تعتبر إلى حد ما « رقمية » digital ، إذ أن أدائها نبضات كهربية (تعمل بحدوث تغيرات كيميائية) ، مما جعل البعض يظن عند ادخال الكمبيوترات الرقمية الأولى أن بعض عمليات المخ يمكن اعتبارها من نوع عمل تلك الكمبيوترات الرقمية . وقد تجاهل الكثيرون أنه ربما كان المخ يعمل بطرق مختلفة أخرى مثل استخدام التغيرات في الضغوط الكهربية (مما يمكن اعتباره إلى حد ما من نوع عمل الكمبيوترات التناظرية) . على أننا ما زلنا بعيدين كل البعد عن فهم طريقة عمل الجهاز العصبي المركزي (الدماغ والجبل الشوكي) . ويجب ألا نذهب بعيداً جداً في المقارنات بين عمل هذا الجهاز وعمل العقول الالكترونية . ومن الواجب في هذا الصدد أن نتذكر أمرين ، هما :

١ - أن الجهاز العصبي للإنسان يحتوي على عشرة آلاف مليون خلية عصبية في الدماغ وحده . وإذا أردنا أن نعرف مقدار الأعمال التي يمكن أن يؤديها هذا الجهاز فعلينا أن نتذكر أن دماغ النملة يحتوي على ٢٥٠ خلية تقريباً ، وأن دماغ النحلة يحتوي على ٩٠٠ خلية تقريباً ، وأنه لا يمكن أن يقوم أي كمبيوتر رقمي - يحتوي على مثل أحد هذين العددين الضئيلين من الوحدات البنائية - بشيء يستحق الذكر مما يستطيع دماغ النملة أو النحلة أن يؤديه .

٢ - أن الهدف الذي يعمل من أجله أي عقل إلكتروني يُحدد له من الخارج . أما الهدف الذي يعمل من أجله الجهاز العصبي فمحدد من الداخل (سواء بوعي أو بدون وعي) .

على أننا إذا كنا ننظر إلى القيمة العملية لآلات المستقبل فيجب ألا يسبب لنا الأمر الأول أي ازعاج . إذ أننا لن نكون في حاجة حقيقية إلى آلات تقوم بكل الأعمال التي يقوم بها الجهاز العصبي للإنسان . على أنه سيكون هناك الكثير مما تستطيع آلات المستقبل القيام به من هذه الأعمال . وسيكون قيامها بهذه الأعمال بطريقة أكفأ وأسرع . ولدينا الدليل الحاضر في العقول الالكترونية والصناعات الأوتوماتيكية .

كذلك لا يجب أن يقلل الأمر الثاني إطلاقاً من القيمة العملية لآلات المستقبل ، فأننا - على أي حال - لا نريد أية آلة تحدد الهدف لنفسها . وما نحتاجه فعلاً هو آلات تقوم بالإشراف والمراقبة والتنسيق من أجل تحقيق الهدف الذي نحدده نحن لها .

ولكن ما هي الآلات التي تستطيع القيام بذلك ؟ إن أهمها هي العقول الالكترونية ، والآلات

التي تعمل باستخدام ما يسميه المهندسون «التغذية المرتدة» . وقد سبق أن تكلمنا عن العقول الالكترونية في العدد الثاني من المجلد الأول من هذه المجلة . ومن المناسب الآن أن نتكلم بإيجاز عن التغذية المرتدة .

التغذية المرتدة (بالمعلومات) (Information) feedback

يجلس مدير المصنع الى مكتبه ويعطي الأوامر مراعيًا أن تصل بطريقة ما الى قاعات العمل ، ثم يتلقى ، بطريقة ما ، بيانات عن سير العمل قد تلزمه في الحال أو في المستقبل لتعديل الأوامر أو لاعطاء الأوامر التالية . وإذا كان هذا المدير مهندسًا فإنه سيغير عما يحدث بأن يقول انه يرسل اشارات تتضمن أوامر بانجاز عمل معين ، ثم « يرد » عليه بإشارات « تفذييه » بالمعلومات عن سير العمل . وسوف يسمي هذا المهندس عملية الرد عليه لانه بالمعلومات اللازمة باسم « التغذية المرتدة بالمعلومات » أو ، اختصارًا ، باسم «التغذية المرتدة». ومن الواضح أن التغذية المرتدة (بالمعلومات) لا غنى عنها لتحكم المدير في سير العمل .

ويطلق الصاروخ الى اجواز الفضاء وتصدر اليه الأوامر تبعاً من « مركز التحكم » أو ما يسميه البعض « مركز المتابعة » ، وتكون هذه الأوامر في شكل اشارات من نوع ما . و « يرد » من الصاروخ على مركز التحكم بإشارات ، من نوع ما ، « تفذييه » بالمعلومات عن الصاروخ مما يلزم المركز في الحال ، أو في المستقبل ، لتعديل الأوامر أو لاعطاء الأوامر التالية . وسوف نحدو الآن حدو المهندسين ونطلق على عملية الرد على مركز المتابعة لافادته بالمعلومات اللازمة عن الصاروخ اسم « التغذية المرتدة » (بالمعلومات) .

وهنا أيضاً نجد أن التغذية المرتدة بالمعلومات لا غنى عنها لتحكم مركز المتابعة في رحلة الصاروخ .

ويضع الطفل يده على جسم ساخن فتسير التيارات العصبية من اليد ناقلة المعلومات الى النخاع الشوكي (وهو مركز التحكم في الحركات الانعكاسية) . وبمجرد تغذية النخاع الشوكي بالمعلومات الواردة من اليد تصدر الأوامر منه ، عن طريق تيارات في الاعصاب الحركية المختصة ، الى العضلات لكي تبعد يد الطفل في التو عن الجسم الساخن .

وهنا أيضاً نجد عملية تغذية مرتدة بالمعلومات (، ومن الواضح أن هذه العملية لا غنى عنها للتحكم في يد الطفل في الوقت المناسب .

ويجلس سائق السيارة الى عجلة القيادة فتصدر الأوامر من مخه الى يديه بتوجيه السيارة في اتجاه الطريق ، وتسير التيارات العصبية من العينين ناقلة المعلومات الى المخ (وهو مركز التحكم في الحركات الارادية) . وبمجرد تغذية المخ بالمعلومات عن اتجاه السيارة بالنسبة الى الطريق يعطى المعلومات الى اليد ، عن طريق تيارات في الاعصاب الحركية المختصة ، اما لابقاء اتجاه السيارة كما هو (اذا كانت سائرة في الاتجاه الصحيح) أو لتعديله حتى تسير السيارة في اتجاه الطريق .

وهنا أيضاً نجد عملية تغذية مرتدة بالمعلومات (كما أن هذه العملية لا غنى عنها للتحكم في اتجاه السيارة .

وكل من الأمثلة الأربعة السابقة يتضمن ما يطلق عليه اسم «نظام تحكمي» Control System . وهنا نستخدم كلمة « نظام » للتعبير عن أي ترتيب أو مجموعة من الأشياء بينها علاقة أو ارتباط من

نوع ما يجعلها تشكل كلاً ، أو تعمل كوحدة كاملة ، أو تقوم بالأمرين معاً . وبهذا الاصطلاح يكون « النظام التحكمي » تعبيراً عن مجموعة من الأشياء متصلة أو مرتبطة ببعضها البعض بطريقة تجعلها توجه ، أو تضبط ، أو تتحكم في نفسها أو في أي نظام آخر .

وتنقسم النظم التحكمية الى قسمين رئيسيين . ولشرح ذلك سندخل مصطلحين فنيين هما « الإدخال » و « الإخراج » .

والادخال input هو الاثارة التي تدخل على نظام من مصدر خارجي لكي تنتج عادة استجابة معينة من النظام .

والاخراج output هو الاستجابة الفعلية الصادرة من النظام . وقد تكون مساوية أو غير مساوية للاستجابة معينة التي يتضمنها الإدخال .

ففي نظام تكييف اوتوماتيكي لهواء غرفة ، وهو نظام تحكمي من صنع الانسان ، يكون الإدخال هو درجة الحرارة التي نعينها (ونحددها بضبط الترموستات) . أما الإخراج فهو درجة الحرارة الفعلية في الغرفة .

وجهاز العرق في الانسان جزء من النظام البيولوجي الذي يتحكم في درجة حرارته . وعندما ترتفع درجة حرارة الجلد الخارجية عن حد معين نجد أن الغدد العرقية تفرز العرق بغزارة ، ويؤدي بخار العرق الى انخفاض درجة حرارة الجلد . وعندما يحدث التبريد اللازم يقف الافراز الزائد للعرق . والإدخال هنا ، هو درجة الحرارة العادية أو المناسبة للجلد ، والإخراج ، هو درجة الحرارة الفعلية .

ويمكننا الآن أن نشرح الفرق بين نوعي الأنظمة التحكمية . ولذلك دعنا نقارن بين نظام تدفئة يتكون من مدفأة عادية في غرفة ، ونظام تدفئة اوتوماتيكية في غرفة أخرى . فإذا كن الجهازان معدين للعمل فإن المدفأة العادية ستعمل باستمرار على تدفئة الغرفة غير متأثرة بدرجة الحرارة الفعلية للهواء المحيط بها ، أي بالإخراج . أما الجهاز اوتوماتيكي فإنه سيعمل أو يتوقف من العمل حسب درجة الحرارة الفعلية في الغرفة ، أي أنه سيتأثر بالإخراج .

فهناك اذن نوعان من النظم التحكمية :

١ - النظم التحكمية التي يكون العمل فيها مستقلاً عن الإخراج (أي لا يتأثر به) . وهذه نسميها نظاماً تحكمية مفتوحة الحلقة open-loop control systems

٢ - النظم التحكمية التي يتوقف العمل فيها بطريقة ما على الإخراج ، وهذه نسميها نظاماً تحكمية مغلقة الحلقة closed-loop control systems ويطلق أيضاً على هذه النظم اسم « نظم ذاتية التحكم » self-controlled systems ويمكننا الآن أن نعطي التعريف التالي :

التغذية المرتدة هي خاصية للنظم التحكمية المغلقة الحلقة تسمح للإخراج بأن يقارن بالإدخال لكي يتم العمل التحكمي الملائم .

ولو رجعنا الى الأمثلة الأربعة التي اعطيناها على التغذية المرتدة فانا سنجد ان كل مثال

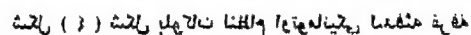
ونلاحظ في كل من الأمثلة الأربعة السابقة أن الفرض من التحكم هو **ملاشاشة الفرق بين الإدخال والإخراج** . وعندما يكون هذا هو الفرض من التحكم فإنه يطلق على التغذية المرتدة اسم **« التغذية المرتدة السالبة »** negative feedback كما يطلق على الفرق بين الإدخال والإخراج اسم **الخطأ** . أي أن :

وفي نظم التغذية المرتدة السالبة ، وهي النظم التي سيقترص كلامنا عليها ، يكون الخطأ هو « (الإشارة المنشطة) » *actuating signal* لعنصر التحكم في النظام .

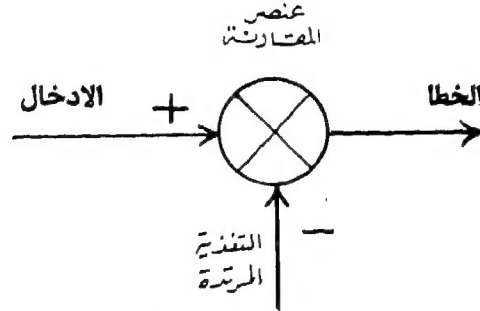
Block diagrams : اشكال البلوكات

. قف هذا قبل هذا = البطل الفجاء ، الإزدحام في العداة ، اربحها فجزء = للخصم

وفي العادة يحتوى المستطيل الذى يمثل البلوك على وصف أو اسم العنصر الذى يؤثر على الإدخال ليعطى الإخراج. ^{شأنه} وتمثل الأسهم اتجاه سير الإشارات أو المعلومات. (3.1.1.2)



37



شكل (٣) عنصر المقارنة في نظام تحكمي مغلق الحلقة

وفيما يلي بعض الأمثلة على أشكال البلوكات لأنظمة تحكمية مغلقة الحلقة تتضمن تغذية مرتدة سالبة .

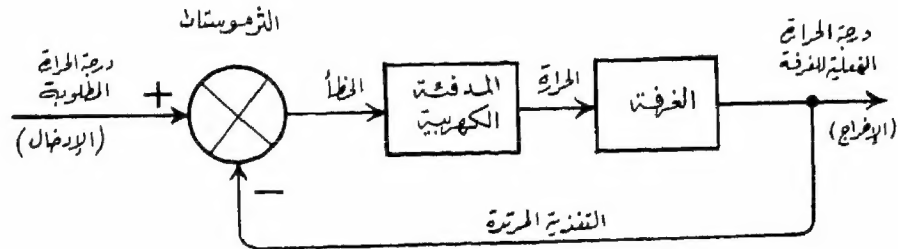
والاشكال (٤) ، (٥) ، (٦) ، (٧) تمثل اشكال بلوكات لنظم تحكمية مختلفة .

فشكل (٤) يمثل النظام الأتوماتيكي ، الذي تحدثنا عنه ، لتدفئة غرفة .

وهنا نجد أن عنصر المقارنة هو الثرموستات الذي يقارن بين درجة الحرارة المطلوبة (وهي الإدخال) ودرجة الحرارة الفعلية للغرفة (وهي الإخراج) ، وذلك بناء على المعلومات التي تصله بطريق التغذية المرتدة . ولعنصر المقارنة إخراج ، هو الخطأ ، الذي تعطيه في هذه الحالة المعادلة الآتية :

$$\text{الخطأ} = \text{درجة الحرارة المطلوبة} - \text{درجة الحرارة الفعلية للغرفة} .$$

وطالما كان الخطأ في هذه الحالة موجبا (أى طالما كانت درجة الحرارة المطلوبة تكون أعلى من درجة حرارة الغرفة) فإن المدفأة الكهربائية تعمل . وعندما يصل الخطأ الى الصفر يبطل عمل المدفأة أو توماتيكا .

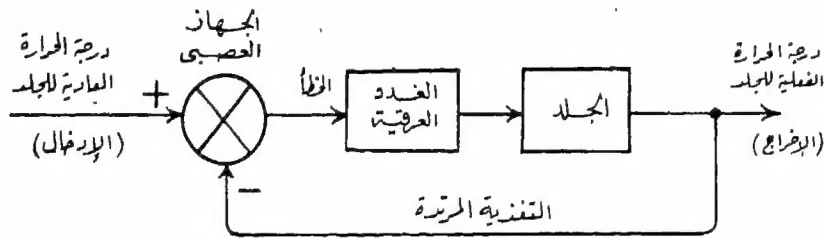


شكل (٤) شكل بلوكات لنظام أوتوماتيكي لتدفئة غرفة

ويمثل شكل (٥) النظام البيولوجي للتحكم في درجة حرارة الجلد بافراز العرق وبخيره . وهنا نجد أن عنصر المقارنة هو الجهاز العصبي الذي يقارن بين درجة حرارة الجلد العاديّة (وهي الإدخال في هذه الحالة) ودرجة الحرارة الفعلية للجلد (وهي الإخراج) ، وذلك بناء على المعلومات التي تصله بطريق التغذية المرتدة . والخطأ هنا تعطيه المعادلة الآتية :

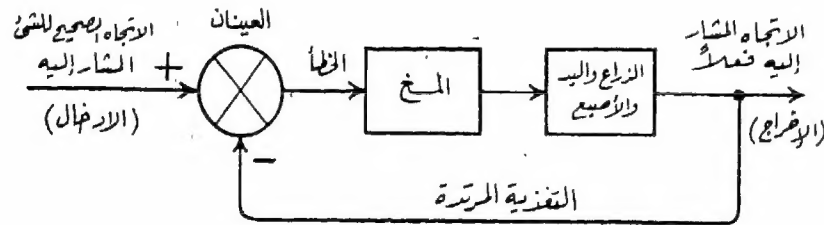
الخطأ = درجة الحرارة العادية للجلد - درجة الحرارة الفعلية للجلد .

وطالما كان الخطأ في هذه الحالة سالبا (أى طالما كانت درجة الحرارة العادية للجلد منخفضة عن درجة الحرارة الفعلية له) فإن افراز الغدد العرقية يكون أعلى من المعدل . وعندما يصل الخطأ الى الصفر يعود الافراز الى معدله .



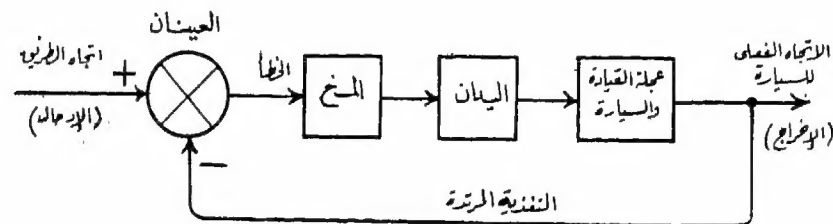
شكل (٥) شكل بلوكات لنظام بيولوجي للتحكم في درجة حرارة الجلد بافراز العرق وبغضه .

ويمثل شكل (٦) نظاما تحكميا يتضمن الاشارة بالاصبع الى شيء متحرك أو ثابت . وهنا تكون العينان هما عنصر المقارنة . وأى خطأ في الاتجاه الفعلى للاشارة (بالنسبة للاتجاه الصحيح للشيء المشار اليه) يبلغ الى المخ الذي يرسل الاشارة الى الذراع واليد والاصبع لتصحيح اتجاه الاشارة .



شكل (٦) شكل بلوكات لنظام تحكمي يتضمن الاشارة بالاصبع الى شيء (متحرك أو ثابت) .

ويمثل شكل (٧) نظاما للتحكم في اتجاه سير سيارة في الطريق . وهنا ايضا نجد أن العينين هما عنصر المقارنة . وستترك القاريء يحاول الآن تتبع « الحلقة » في الشكل .

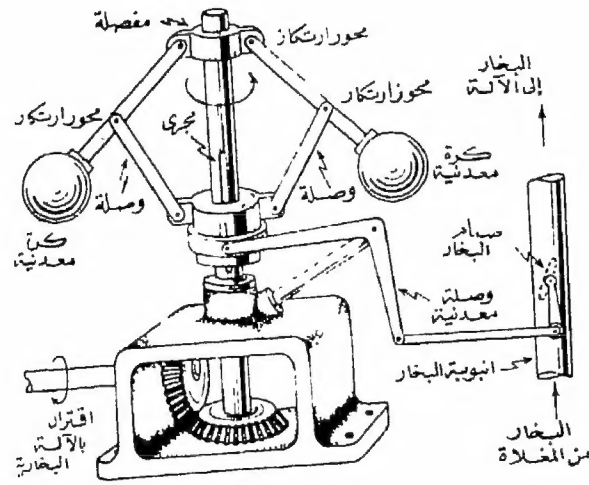


شكل (٧) شكل بلوكات يمثل نظاما للتحكم في اتجاه سير سيارة في الطريق .

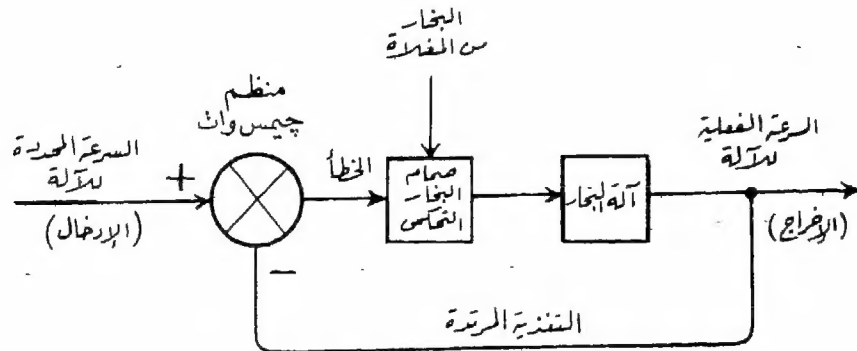
منظم جيمس واط : James Watt Governor

ليست فكرة التحكم الاوتوماتيكي جديدة . ففي سنة ١٧٩٠ اخترع جيمس واط « منظمًا » او « حاكمًا » اوتوماتيكيا لضبط سرعة الآلة البخارية التي اخترعها عندما وجد ان زيادة الحمل تنقص من السرعة . ويعمل ذلك المنظم باستخدام القوة الطاردة المركزية . فعندما تهبط سرعة الآلة (بسبب زيادة الحمل) تهبط كرتان معدنيتان هما جزءان من الجهاز ويؤدي ذلك الى ادارة صمام في انبوبة البخار بحيث يزداد البخار الداخل ، وبذلك تزيد سرعة الآلة حتى تصل الى السرعة المطلوبة . والعكس بالعكس .

انظر شكل (٨) ، (٩)



شكل (٨) منظم (حاكم) جيمس واط .



شكل (٩) شكل بلوكتات يمثل نظاما تحكميا يتضمن منظم جيمس واط

الاهتزاز في النظم التحكمية : (hunting) Oscillation

من المعلوم أنه إذا سار شخص مسافة طويلة وفي يده كوب مملوء بالماء فإنه سيجد صعوبة في منع انسكاب الماء من الكوب . والسبب في ذلك هو الحركات المبالغ فيها نتيجة التغذية المرتدة الزائدة . فحامل الكوب سيحاول جعل محور الكوب رأسياً ، أى أن يجعل محوره يصنع زاوية صفر مع الرأسى . وهذا هو الإدخال . على أن الإخراج لن يكون صفراً في الغالب . وللاشارة الخطأ لا بد من تحريك محور الكوب (في اتجاه اليمين مثلاً) . فإذا كانت هذه الحركة مبالغاً فيها فإن الماء سينسكب بسبب خطأ جديد مضاد لاتجاه الخطأ الأول ولكنه أكبر منه . وإذا تلا ذلك تنفيذ مرتدة زائدة ونشأ عنها حركة مبالغ فيها (في اتجاه اليسار هذه المرة) فإن الماء سينسكب من الجهة الأخرى ، وهكذا . .

وبدل هذا المثال على أن التغذية المرتدة الزائدة ينشأ عنها (اهتزاز) ويكون ضررها أكبر من نفعها . ويخشى المهندسون هذا النوع من الاهتزاز في النظم التحكمية الأوتوماتيكية ويطلقون عليه اسم hunting . ومن أهم ما يراعونه عند تصميم عناصر التحكم أن يكون الاهتزاز أقل ما يمكن . أما البيولوجيون فلم يفتنوا إلى علاقة التغذية المرتدة الزائدة بالرششة التي تصاحب بعض الحركات الإرادية إلا في وقت متأخر نسبياً . وقد كان لاكتشاف هذه العلاقة أثر كبير في تغيير أفكار العلماء عن أساس عمل الجهاز العصبي للإنسان ، وبدأ أنه توجد أسس مشتركة لعمليات التحكم في النظم البيولوجية والنظم الأوتوماتيكية .

ومما يجدر ذكره أن الذين نبهوا إلى ذلك كانوا ثلاثة أشخاص من ميادين مختلفة ، فاحدهم استاذ للرياضيات ، والآخر مهندس ، والثالث طبيب استعانوا به لتأكيد صحة الاستنتاج الذي وصلوا إليه .

والآن لنترك استاذ الرياضيات يقص علينا قصة ذلك الاكتشاف وأثره .

رعشة الغرض : purpose tremor

في كتاب «**السيبرنطيقا**» (٢) للعالم الأمريكي الكبير **نوربرت فينر** Norbert Wiener (١٨٩٤ - ١٩٦٤) يقص المؤلف قصة اكتشاف من أهم الاكتشافات المتعلقة بالفعل الإرادى للإنسان . وأبطال هذه القصة ثلاثة هم (١) المؤلف وهو أكبر علماء الرياضيات الذين أنجبتهم الولايات المتحدة الأمريكية (٢) **أرتورو روزنبلوث** Arturo Rosenblueth الطبيب المكسيكي الأصل وهو واحد من أكبر علماء الفسيولوجيا في القرن العشرين (٣) **جولييان بيجيلو** Julian H. Bigelow وهو مهندس كهربائي اشترك مع فينر في البحوث المتعلقة بالتحكم . يقول فينر :

«**والآن لنفرض أني ألتقط قلم رصاص . لكي أفعل ذلك فعلي أن أحرك عضلات معينة . إلا أنه باستثناء خبراء قليلين في علم التشريح فإننا جميعاً لا نعلم ما هي هذه العضلات . وحتى بين علماء التشريح لا يوجد إلا القليلون الذين يمكنهم القيام بعملية انقباض كل عضلة معينة بالترتيب وبرغبة واعية . وبالعكس ، سيكون منافعها هو أن **نلتقط القلم** . وبمجرد أن نقرر ذلك**

فاننا نتحرك بطريقة يمكن أن نصفها بالتقريب بأن نقول ان مقدار عدم التقاطنا للقلم يقل في كل مرحلة . وهذا الجزء من العمل يكون بغير وعي كامل .

« ولأداء عمل بمثل هذه الطريقة لا بد من وجود تقرير للجهاز العصبي ، سواء بوعي أو بغير وعي ، عن مقدار فشلنا في كل لحظة في التقاط القلم . وإذا كانت أميننا على القلم فان هذا التقرير سيكون بصرياً في جزء منه على الأقل ، ولكنه على وجه أعم ، سيكون عن موضع جسمنا وأطرافنا Proprioceptive . فإذا كانت الاحساسات بموضع الجسم والأطراف غير كافية ولم نستبدلها بعوض بصري أو غير بصري ، فاننا سنكون عاجزين عن القيام بالتقاط القلم ، وسنجد أنفسنا في حالة ما يعرف باسم الشلل الجزئي ataxia . والشلل الجزئي من هذا النوع معروف في شكل زهري الجهاز العصبي المركزي ، ويطلق عليه اسم « الهزال الظهري » tabes dorsalis وهو ينشأ من تلف الاحساس بموضع الجسم والأطراف ، وهو احساس تحمله الأعصاب الشوكية .

« على أن التغذية المرتدة الزائدة عن الحد ربما كانت عائقاً للنشاط المنظم ، أكبر من التغذية المرتدة الناقصة . وبسبب امكان ذلك ، ألقيت أنا والمستر بيجيلو على الدكتور روزنبلوت سؤالاً محدداً تماماً وهو : « هل توجد اية حالة مرضية يحدث فيها للمريض ، عندما يريد القيام بعمل ارادي مثل التقاط قلم ، ان يتعدى الشيء ويهتزاز اهتزازاً لا يمكنه التحكم فيه ؟ » . وعلى الفور اجاب الدكتور روزنبلوت بأنه توجد حالة مرضية معروفة تماماً بهذا الشكل وانها تسمى « رعشة الغرض » purpose tremor وتكون في الغالب مصحوبة بتلف في المخيخ .

« وهكذا وجدنا تأكيداً معنوياً كبيراً جداً لفرضنا بشأن طبيعة بعض النشاط الارادي على الأقل . ويلاحظ أن وجهة نظرنا تعدت ، بدرجة كبيرة ، وجهة النظر التي كانت سارية بين فسيولوجيي الاعصاب . فالجهاز العصبي المركزي لم يعد يبدو كعضو قائم بنفسه يتلقى الادخالات (الاثرات) من الحواس ثم يفرغ التيسارات في العضلات . فبالعكس ، لا يمكن تفسير بعض نشاطاته المميزة الا بأنها اعمال دورية ، تخرج من الجهاز العصبي وتدخل في العضلات ، ثم تدخل الجهاز العصبي مرة اخرى من خلال اعضاء الحس ، سواء كانت مما يتعلق بالاحساس بموضع الجسم او كانت اعضاء حس خاصة . . وقد بدا لنا ان ذلك يحدد لنا خطوة جديدة في دراسة ذلك الجزء من فسيولوجيا الاعصاب الذي لا يقتصر امره على العمليات الاولية للجهاز العصبي ، وانما يتعداه الى أداء الجهاز العصبي ككل متكامل .

« وقد شعر ثلاثتنا بأن هذه الوجهة الجديدة للنظر تستحق كتابة بحث ، وقد كتبناه ونشرناه (٣) . وقد تنبأ الدكتور روزنبلوت وانا بان هذا البحث لا يمكن ان يكون الا تقريراً عن برنامج لشيء كثير من العمل التجريبي ، وقررنا أنه اذا أمكننا في وقت ما أن نخرج خطتنا الى النور ، فسيكون هذا الموضوع هو مركز نشاطنا » .

(٣) Rosenblueth, A., N. Wiener, and J. Bigelow, "Behavior, Purpose and Teleology," Philosophy of Science, 10, 18-24 (1943).

البحث في « الأرض المحايدة » بين ميادين العلم المتوطدة :

لقد كانت الأهمية الكبرى للنتيجة التي وصل إليها العلماء الثلاثة **فينر** و **روزنبلوت** و **بيجيلو** هي أنه اتضح الآن أن الجهاز العصبي للإنسان يعمل على أساس دوري ، أي أنه يدخل في « حلقة » مغلقة تسير فيها الاشارات ، في شكل دائرة ، ثم تعود لتسير مرة أخرى في نفس الدائرة ، وهكذا . ولا بد أن القارئ قد خطر له هذا السؤال : بالرغم من الاختلاف المنظور بين النظم التحكمية الأوتوماتيكية والنظم التحكمية البيولوجية ، ما هو الفرق — من حيث المبدأ — في الاهتزاز الذي يخشاه المهندسون في نظم التحكم الأوتوماتيكية ، ورعشة الفرض التي يعانيها إنسان مريض بتلف في المخيخ ؟

إن الإجابة على هذا السؤال تكمن في البحث في المنطقة الواقعة بين ميداني البيولوجيا والهندسة ، وهي منطقة كانت « محايدة » منذ نحو ثلاثين عاماً . ولم تكن فكرة البحث في المناطق الواقعة بين الميادين المتوطدة للعلم شيئاً جديداً على **فينر** في الوقت الذي توصل فيه ، مع زملائه ، إلى النتيجة السابقة . فقد كتب في كتاب « السيبرنطيقا » يقول :

« لسنين عديدة اشتركت مع الدكتور **روزنبلوت** في الاعتقاد بأن أخصب المجالات لنمو العلوم هي تلك التي كانت مهمة باعتبارها أرضاً محايدة بين الميادين المتوطدة المختلفة . فمبدأ **Leibnitz** ربما لم يكن هناك إنسان ملم بكل النشاط الذهني في عصره . ومنذ ذلك الوقت أخذ العلم يتحول بشكل متزايد إلى عمل المتخصصين في ميادين تضيق باستمرار . . . واليوم يوجد القليل من المتعلمين الذين يمكنهم أن يطلقوا على أنفسهم اسم رياضيين أو فيزيائيين أو بيولوجيين بدون قيود . فقد يكون الرجل متخصصاً في الطبولوجيا (فرع من الرياضيات) ، أو الصوتيات (فرع من الفيزياء) ، أو في الخنافس (فرع من البيولوجيا) ، وسيكون هذا الرجل ملماً بكل مصطلحات ميدانه ، عارفاً بكل ما كتب فيه وبكل فروعه ، ولكنه غالباً ما يعتبر الموضوع التالي شيئاً تابعاً لزميله الجالس خلف الباب الثالث في العمر ، وإن الاهتمام به سيكون اعتداءً بدون إذن على شيء خاص .

« إن هناك ميادين للعمل العلمي استكشفت من الجوانب المختلفة للرياضيات البحتة ، وعلم الاحصاء ، والهندسة الكهربائية ، والفسيولوجيا . وفي هذه الميادين أعطى لكل فكرة اسم منفصل من كل مجموعة ، كما أجرى كل عمل هام ثلاث أو أربع مرات ، بينما تأجل القيام بعمل هام آخر لعدم الإلمام في أحد الميادين بالنتائج التي ربما تكون قد أصبحت كلاسيكية في الميدان التالي .

« إن هذه المناطق الواقعة على حدود العلم هي التي تعطى أغنى الفرص للباحث المؤهل ، وهي في الوقت نفسه أكثر ما تكون استجابة للطرق التي يقبلها الناس للمعالجة بالجملة وتقسيم العمل . . . وقد كان الدكتور **روزنبلوت** يصر دائماً على أن الاستكشاف الملائم لهذه الفضائات في خريطة العلم لا يمكن أن يتم إلا بواسطة فريق من العلماء ، يكون كل منهم متخصصاً في مجاله ولكن ملماً بالمأماً سليماً بمجالات جيرانه و متمرساً فيها . . . وقد بقينا لسنوات نحلم بمعهد يضم علماء مستقلين يعملون معاً في هذه الفجوات الخلفية للعلم ، لا كتابعين لضابط تنفيذي كبير ، بل مرتبطين بالرغبة في فهم المنطقة ككل وفي اعارة كل منهم قوة ذلك الفهم للآخرين .

« لقد كنا على اتفاق بشأن هذه الآراء قبل أن نختار ميدان بحثنا المشتركة ودور كل منا فيها . . . »

السيبرنطيقا : علم التحكم والاتصال في الحيوان والآلة :

كان فينر صديقاً للدكتور فنيشوس Vannevar Bush وهو من أوائل المخترعين في مجال العقول الالكترونية . ومن هذه الصداقة تولدت لدى فينر رغبة في القيام بعمل في مجال الحساب الالكتروني . وقد قام فعلاً بشيء غير قليل في هذا المجال في صيف سنة ١٩٤٠ .

على انه في بداية الحرب العالمية الثانية أدى التفوق الجوي الألماني والمركز الدفاعي لبريطانيا الى جذب اهتمام العلماء الى محاولة تحسين المدفعية المضادة للطائرات . وقد جعل ذلك فينر يشترك في البحوث اللازمة لتصميم جهاز اوتوماتيكي للدفاع الجوي يأخذ في الحسبان حركات المروعة للطائرة المفيرة . وقام فينر فعلاً بتصميم جهاز ميكانيكي كهربائي « يتنبأ » بالحركة القادمة للطائرة بالاستخدام المستمر للتفديسة المرتدة بالمعلومات عن وضع الطائرة .

وهكذا وجد فينر نفسه يشتغل مرتين بدراسة نظام ميكانيكي كهربائي صمم لكي « يغتصب » وظيفة خاصة بالانسان . ففي المرة الاولى درس العقول الالكترونية التي تقوم بشكل معتقد من العمليات الحسابية . وفي المرة الثانية صمم جهازاً يقوم بالتنبؤ .

ولم يكن فينر يعمل وحده . وانما كان نواة لمجموعة من كبار المتخصصين في مختلف ميادين العلم ، والطب ، والتكنولوجيا . وقد تعاونت هذه الجماعة لتنفيذ البرنامج الذي وضعه فينر مع روزنبلوت للبحث في الارض المحايدة بين ميداني الفسيولوجيا والهندسة ، والذي كان يدور حول الاتصال والتحكم (حيث الاتصال معناه تلقى وهضم المعلومات ، والتحكم معناه استعمال هذه المعلومات لتوجيه العمل في نظام معين) وهما موضوعان اتضح للجماعة وجود صلة قوية بينهما . وفي هذا الصدد يقول فينر :

« وعلى مستوى هندسة الاتصال اصبح واضحاً لمستر بيجيلو ولي ان مسائل هندسة التحكم وهندسة الاتصال غير منفصلة عن بعضها البعض ، وانها لا تتركز حول تكتيك الهندسة الكهربائية وانما حول الفكرة الاساسية بدرجة اكبر وهي فكرة « الرسالة » message سواء نقلت بوسائل كهربية او ميكانيكية او عصبية » (٤)

ولاتمام موضوع يتصل بنقل الرسالة قام فينر وبيجيلو بتطوير نظرية عن مقدار المعلومات amount of information (وهي فكرة طرأت للكثيرين قبل ذلك) .

وهكذا وجد فينر وروزنبلوت والمجموعة التي تجمعت حولهما من العلماء والمهندسين ان هناك « وحدة جوهرية لمجموعة المسائل التي تتركز حول الاتصال والتحكم » سواء كانت في الآلة او في الحيوان .

وفي صيف سنة ١٩٤٧ قررت الجماعة اطلاق اسم « السيبرنطيقا » cybernetics على « الميدان الكامل لنظرية التحكم والاتصال ، سواء في الآلة او الحيوان » . وقد كان فينر هو الذي صاغ اسم العلم الجديد اشتقاقاً من اللفظ الاغريقي القديم kubernetes ومعناه « رجل سكان السفينة » وهو الذي يقوم بتوجيهها والتحكم في مسارها . وقد ذكر فينر فيما بعد انه لم يكن يعلم ان أندريه أمبير Andre Ampere كان قد أطلق في سنة ١٨٣٤ نفس الاسم على « علم

الحكومات» او «علم السيطرة على المجتمع» . ومن الطريف أن افلاطون كان قد اطلق نفس الاسم أيضاً على «علم توجيه السفن» قبل نحو ٢٣٥٠ عاماً .

والآن دعنا ننظر الى «السيبرنطيقا» في ضوء تعريف ثينر لها ، ومفهوم بعض من تلاه في الاشتغال بهذا العلم .

تعنى **السيبرنطيقا** الحديثة بدراسة عمليات الاتصال (أى تلقى المعلومات وهضمها) والتحكم (أى استعمال هذه المعلومات لتوجيه العمل في نظام معين) في كل من الآلة والحيوان (بما في ذلك الانسان) ، كما تعنى باكتشاف أوجه الشبه بين هذه العمليات في النظم البيولوجية ومثيلاتها في النظم الفيزيائية ، أى في النظم الحية والنظم غير الحية . ومن الأمثلة على نوع الشبه الذى يهتم السيبرنطيقيين مقارنة نظام آلي للتحكم في اطلاق المدافع المضادة للطائرات ، بقط يصطاد فأراً ، حيث نجد أن كلا منهما يتلقى معلومات عن هدفه النظام الآلي عن طريق الرادار ، والقط عن طريق بصره . وتتألف المعلومات في كل حالة من سلسلة زمنية احصائية هي سلسلة حركات الهدف في فترات زمنية متساوية متعاقبة ، وبحسب كل من النظام الآلي والقط ماذا يجب ان يفعل ليصيب الهدف . ويستعمل النظام الآلي « حلقة تغذية مرتدة » تقارن الاتجاه الحاضر للمدفع بالاتجاه المطلوب وتعمل على جعل الفرق بين الاتجاهين مساوياً الصفر . وهناك ما يجعلنا نعتقد أن منح القط يقوم بعملية حساب مماثلة مبنية على الخبرة السابقة . وفي النهاية يقوم كل من نظام التحكم الآلي والقط باصدار أوامر للقيام بالعمل الملائم : **النظام الآلي** عن طريق آلات الضبط ، **والقط** عن طريق تحكم اعصابه في عضلاته . ومن الأمثلة الأخرى على أوجه الشبه التى تهتم السيبرنطيقيين مقارنة مع الانسان وجهازة العصبي بالة حاسبة كبيرة (كمبيوتر) لها « ذاكرة » لتخزين المعلومات ، ووحدة تحكم ، ووحدة معالجة مركزية .

وفي التكنولوجيا تهتم السيبرنطيقا في المقام الأول بكيفية التفاعل بين مكونات النظام تحت الدراسة وبسلوك هذا النظام ككل ، وتميل الى اهمال الافكار الكلاسيكية عن الطاقة والقدرة والكفاءة كأدوات للتحليل . وتشمل التطبيقات الهندسية السيبرنطيقية كلاً من التحكم في القذائف الموجهة ، وتصميم الدوائر السمعية التي تعمل على التخلص من الضوضاء ، كما تشمل الكمبيوتر والانسان الآلي (الروبوت robot) . واليوم أخذ لفظ « سيبرنيشن » cybernation يحل محل لفظ « اوتوميشن » automation في الصناعة . (والذين زاروا المعرض التشيكوسلوفاكي في الكويت في العام الماضي لا بد أنه استرعى انظارهم قسم « السيبرنطيقا » cybernetics الذى لم تخرج محتوياته عن أجهزة التحكم الآلي والوتوميشن) .

وفي البيولوجيا تعنى السيبرنطيقا بطبيعة التوزيعات العصبية والعضلية المختلفة ، وتصميم مبتكرات تقوم مقام الجهاز البصرى للعيان ، وتحسين الأطراف الصناعية (ويشمل ذلك قياس الاثارات العصبية التى تدل على موضع طرف وإيجاد طرق لمحاكاة تلك الاشارات) .

ويميل الكثيرون من علماء الاجتماع والاقتصاد وعلم النفس المعاصرين الى دراسة علم السيبرنطيقا مقتنعين بأن نظرية « الاتصال والتحكم » سيكون لها أكبر الأثر في بحوثهم عن السلوك في المجالات الاجتماعية والاقتصادية والنفسية وستفتح الباب لإيجاد وسائل تحسين السلوك في كل من هذه المجالات .

ويقول « فوستر » D. B. Foster المستشار البريطاني في الاوتوميثن : (٥)

« عندما قابلت فينر لأول مرة في سنة ١٩٦٠ في موسكو سألته لماذا اخترع مصطلح « السيبرنطيقا » وماذا كان يقصد أن يعنيه بالضبط . وقد كان جوابه : السيبرنطيقا كلمة اغريقية مركبة معناها فن رجل سكان السفينة وأظن أن علينا أن ننظر إليها بهذا الشكل تماماً . إنها تعنى بإدارة العمليات والتحكم فيها - أى نوع من العمليات سواء سيكلوجية أو فيزيائية » .

كتاب فينر الكلاسيكي : « السيبرنطيقا »

قلما عمل كل من كاتب وكتاب على ذبوع شهرة الآخر مثلما عمل فينر وكتابه «السيبرنطيقا: أو التحكم والاتصال في الحيوان والآلة» (٦) . فمان ظهر الكتاب في سنة ١٩٤٨ حتى أصبح اسم العلم الجديد على لسان كل متعلم ، وانتقلت شهرة فينر الى ما هو أبعد بكثير من محيط دنيا الرياضيات والعلوم . وفي وصف ذلك الكتاب كتبت موسوعة حديثة للعلم والتكنولوجيا (٧) تقول : « لقد أعطى الكتاب تحليلاً رياضياً عميقاً للعلم الجديد ، وكذلك مضى يتنبأ بآثاره على شؤون الانسان . وفي هذا الكتاب وجد المتعلمون أول معالجة جادة على أساس كمي لأفكار المصنع الاوتوماتيكي ، والعامل الآلي (الروبوت robot) وخط الإنتاج الذي يتحكم فيه عقل الكتروني ، وأفكار أخرى أصبحت منذ ذلك الوقت شيئاً مألوفاً » .

وقد صدرت طبعة ثانية للكتاب ، مع اضافات ، في سنة ١٩٦١ .

ولعل القارئ يأخذ فكرة عن محتويات الكتاب ، وعن موضوع علم السيبرنطيقا كما يراه فينر ، مما كتبه هو نفسه تعريفاً لعلم السيبرنطيقا في دائرة المعارف الأمريكية The Encyclopedia Americana, 1962 والذي نترجمه فما يلي :

« السيبرنطيقا كلمة صاغها نوربرت فينر لوصف « مركب العلوم » الذي يعالج الاتصال والتحكم في الكائن الحي وفي الآلة . وعندما ادخل فينر الكلمة ، وهي مشتقة من اللفظ الاغريقي Kubernetes ومعناه رجل سكان السفينة ، لم يكن يعلم أنها كان لها تاريخ طويل وأنه سبق أن استخدمها اندريه أمبير قبل أكثر من قرن لكي تغطي الجانب الحكومي البحث لهذه النظرية عند تصنيفه الايجابي للنظريات العلمية . وقد دخل المصطلح الحديث بسبب الحاجة الى الوصف الشامل لمجموعة من الظواهر لها مجتمع حقيقي من الأفكار والطرق المناسبة للدراسة ولكنها تابعة لفروع من العلم قد اتفق على أنها مختلفة » .

« وتشمل السيبرنطيقا نظرية المعلومات وقياسها - وفكرة الاتصال كمسألة احصائية تلعب فيها الرسالة غير المرسله دوراً مساوياً للرسالة المرسله - ونظرية التنبؤ الاحصائي لسلسلة الحوادث الموزعة في الزمن - ونظرية العلاقة بين الرسالة والتشويش وفصلهما بواسطة مرشحات الموجات - ونظرية جهاز التحكم ، وتصميمه وتطبيقه في مبتكرات الضبط - والكمبيوترات الكهربائية -

(٥) Rose, J. editor : Survey of Cybernetics, Iliffe (1969), P. 255.

(٦) Wiener, N. : Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. Wiley (1948, sec. ed. 1961).

(٧) McGraw-Hill, Men of Science and Technology, (1966).

والمصنع الاوتوماتيكي . وهي تشمل كذلك نظرية الجهاز الذي يحتفظ بالمعلومات في نوع من « الذاكرة » والذي يكيف أداءه لكي يحسن كفاءته الذاتية بنوع من « عملية التعلم » - وتطبق هذه الفكرة على الحيوانات الدنيا وعلى الانسان ومجموعه لكي تشمل نظرية الجشطات (الشكل العام) في علم النفس . ومن الممكن توسيعها لتشمل دراسة الأجهزة الفيزيائية التي نتعرف بها على الجشطات. ويتصل بها اتصالاً وثيقاً دراسة شبكات الاتصال ذات الصفات المتغيرة ، ودراسة الطريق التي تتحول بها هذه الشبكات الى الاتزان او شبه الاتزان في الأداء .

« وقد طورت هذه المجموعة من العلوم خلال الحرب العالمية الثانية من الحاجة الى تجميع المواهب الرياضية والعلمية الأخرى للبحث في مسائل التصميمات الحربية التي كانت حتى ذلك الوقت مما لا يعتبر ذا طبيعة علمية . وقد كانت هذه الحاجة متصلة اتصالاً وثيقاً بالحاجة الى تنظيم عمليات معينة منها اسقاط الطائرات (التي كانت تغلت من انواع التدخل البشري الموجودة وقتئذ بسبب سرعتها البالغة وتعقيدها) وذلك باستعمال مبتكرات اضافية اوتوماتيكية ، ميكانيكية ، أو كهربية . وهكذا ظهر الى الوجود ميدان للبحث لا يغطي مثل هذه الوسائل الآلية وحسب ، ولكنه يغطي كذلك نماذجها الأصلية : المنح والجهاز العصبي وقد عالج فينر هذا الميدان في كتابه « السيبرنطيقا : أو التحكم والاتصال في الحيوان والآلة » (١٩٤٨) . وقد كان هذا الكتاب نتيجة لبحث قام بها جوليان بيجيلو Julian Begelow والمؤلف اثناء الحرب على آلات التنبؤ الاوتوماتيكية للمدفعية المضادة للطائرات، ولاهتمام طويل الأمد بالآلات الحاسبة، ولأفكار معينة اقترحها ارتورو روزنبلوث Arturo Rosenblueth وتعلق بالدور الوظيفي للعنصر البشري في نظم الدفاع الجوي الاوتوماتيكية التي يتدخل فيها الانسان .

« وقد اثار هذا الخليط من الفروع العلمية اهتمام فسيولوجي الأعصاب ورجال علم النفس، ومهندسي الاتصالات . وهناك مقالات من كتابة كل هذه المجموعات يجب اعتبارها ذات طبيعة سيبرنطيقية بصفة رئيسية . وفي الرياضيات البحتة كان للسيبرنطيقا أكبر الأثر في دراسة موضوع الاحتمالات . »

وهنا ذكر فينر المراجع التالية :

(١) Wiener, N. : Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine, (New York, Paris 1948).

(٢) Shannon, C. E. : The Mathematical Theory of Communication, and Weaver, W. : Recent Contributions to the Mathematical Theory of Communication, published in one Volume (Urbana, Ill, 1949).

(٣) Wiener, N. : The Human Use of Human Beings, (Boston 1950).

(٤) Morse, P. M. and Kimball, G. E., Methods of Operation Research, rev. ed. (New York 1950).

(٥) Ashby, W. R. : Design for a Brain, (New York 1952).

(٦) Doob, J. L. : Stochastic Processes, (New York 1952)

تعريف أخرى للسيبرنطيقا :

عرف فينر (وزملاؤه) السيبرنطيقا بأنها « علم الاتصال والتحكم في الحيوان والآلة » .
ويقضي هذا التعريف بالنقطتين الآتيتين :

(أولا) تقتصر الأشياء التي تتكون منها النظم السيبرنطيقية على الحيوان والآلات .

(ثانيا) لا تنظر السيبرنطيقا الى هذه النظم الا من وجهتي التحكم والاتصال .

على أنه ظهر من تطور السيبرنطيقا فيما بعد ان تعريف فينر قد وضع قيودا على الموضوع الحقيقي لهذا العلم . وفيما يلي بعض الامثلة .

(١) من جهة الأشياء التي تتكون منها النظم موضوع الدراسة لا يشمل التعريف الموضوعات الاقتصادية والاجتماعية التي يظهر فيها اثر الاتصال والتحكم بشكل واضح تماما ، والتي أصبحت الآن - وبوجه حق - داخلة في ميدان السيبرنطيقا . كذلك لا يأخذ التعريف في الاعتبار النظم المجردة abstract systems مثل النظم الرياضية mathematical systems والنظم اللغوية Linguistic systems التي تنطبق عليها قوانين السيبرنطيقا .

(٢) من ناحية الواجهات التي ينظر منها الى النظم موضوع الدراسة لا يأخذ التعريف في الاعتبار الا اثنتين من العمليات المتعلقة بالمعلومات information وهما عمليتا الاتصال والتحكم . على أنه يوجد عدد آخر من العمليات منها تخزين المعلومات information storage ، ومعالجة المعلومات information processing السخ . وكل هذه العمليات ترتبط ارتباطا وثيقا بالسيبرنطيقا ولا يمكن ادخالها في اي فرع آخر من فروع العلم .

وقد أدى اتساع ميدان السيبرنطيقا عما رآه البعض في تعريف فينر الى قيام محاولات عديدة لوضع تعريف أكثر شمولاً للعلم الجديد . وقد ظهرت نتيجة لذلك تعاريف أخرى أكثر طولاً وتعقيداً من تعريف فينر (٨) . على أنه لا يوجد حتى الآن تعريف يلاقي قبولا اجماعيا .

وفي هذا الصدد يقول بولانجييه R. P. Boulanger رئيس الاتحاد الدولي للسيبرنطيقا ، (٩)

« يعالج ميدان السيبرنطيقا النظم ، الحية والجمادية ، التي يمكن تسميتها ذاتية التحكم عامة للكلمة . ويبدو لي ان التعريف الذي اعطاه فينر في سنة ١٩٤٨ مازال هو الأحسن والأكمل » .

ويقول بولانجييه كذلك :

« ولكن ما هي السيبرنطيقا ؟ أو بالأحرى ، ما هو ما ليس السيبرنطيقا ؟ فمن التناقض أنه كلما زاد كلام الناس عنها كلما ظهروا أقل اتفاقاً على تعريفها . فبالنسبة للبعض ، تعني الكلمة اما نظرية رياضية معقدة أو مجرد تكتيك الاوتوميشن . وبالنسبة للبعض الآخر تستجلب

(٨) See e.g. Klir, J. and Vallach, M. : Cybernetic Modelling, Iliffe (1967), PP. 65-69.

(٩) Rose, J. editor : Survey of Cybernetics, Iliffe (1967) chap. I.

الكلمة الكمبيوترات الجبارة أو نظرية عمليات الاتصال . وتعتبر مدرسة اخرى للتفكير أن السيبرنطيقا وسيلة لدراسة التشابهات التي قد توجد بين الآلات والكائنات الحية ، كما أن مدرسة اخرى تعتبرها عقيدة فلسفية لاكتشاف السر النهائي للحياة . أما بالنسبة لعامة الجمهور فإنها بسيطة ، فهي تستجلب الاناس الآلين والكمبيوتر» .

فروع السيبرنطيقا وتفرعاتها :

يقع ميدان السيبرنطيقا بين ميادين بعض الفروع المتوسطة للعلم مثل البيولوجيا والهندسة وحيثما حدث تداخل بين السيبرنطيقا وفروع العلم الاخرى نشأت فروع علمية جديدة .

ومن التداخلات الهامة مع فروع العلم الاخرى ذلك التداخل بين السيبرنطيقا والرياضيات ، فكثيرا ما تستخدم السيبرنطيقا نظريات رياضية قائمة فعلا ، وليس من النادر أن يؤدي البحث السيبرنطقي الى وضع أسس لاتجاهات رياضية جديدة . وتؤدي هذه الحقيقة أحيانا الى الانطباع بأن السيبرنطيقا فرع من الرياضيات على أن ذلك غير صحيح ، فالسيبرنطيقا تستخدم موارد أخرى الى جانب الرياضيات .

وتتداخل السيبرنطيقا مع البيولوجيا الى درجة كبيرة . ويطلق على ميدان تداخل هذين الفرعين من فروع العلم اسم « **بيوسبيرنطيقا** » biocybernetics (السيبرنطيقا الحيوية) . ويتفرع من البيوسبيرنطيقا فرع من اكثر فروع العلم أهمية يتكون من ميدان تداخل السيبرنطيقا مع علم الاعصاب ويعرف باسم « **نيورو سيبرنطيقا** » neurocybernetics (سيبرنطيقا الاعصاب) .

ويوجد في الوقت الحاضر أوجه مشتركة بين السيبرنطيقا وكل من علم النفس ، وطب الامراض العقلية ، وربما البیداجوجيا (فن التعليم) . وتؤدي التطورات الحالية الى توقع البعض اكتشاف علاقات وثيقة بين السيبرنطيقا وتلك الميادين مما ينشأ عنه فرع جديد للعلم موضوعه « **السيبرنطيقا النفسية** » psychocybernetics .

وتزحف السيبرنطيقا في اتجاهات متعددة على العلوم الهندسية وخاصة عندما تحاول تقديم نظرية عامة لتصميم الابتكارات المختلفة الأنواع . وتوجد العلاقة بين الهندسة والسيبرنطيقا بصفة رئيسية في ميدان آلات معالجة البيانات والمعلومات (الكمبيوترات) ، والضبط (التحكم) الاوتوماتيكي ، وهندسة الاتصالات . ويطلق في الوقت الحاضر اسم « **السيبرنطيقا الهندسية** » (١٠) engineering cybernetics على العلم الناشئ من تداخل السيبرنطيقا مع الهندسة بمعناها الواسع . على أن الراجع ان يحدث تقسيم لهذا الفرع من العلم الى فروع جديدة .

ومن العلاقات الهامة التي تتوطد بين السيبرنطيقا والميادين الاخرى تلك العلاقة بينها وبين علم اللغات linguistics . وتؤدي هذه العلاقة الى ظهور عدد من المسائل النظرية ترتبط ، بصفة خاصة ، بنظرية الاعلام information theory بمعناها الواسع كما يحدث في موضوع « **مقدار المعلومات في اللغة** » وموضوع « **فهم النصوص** » الخ . . كذلك تؤدي هذه العلاقة أيضا الى ظهور كثير من المسائل العملية مثل الترجمة باستخدام الآلات machine translation والمختصات abstracts ولغة الاعلام information language الخ . .

(١٠) يخلط أحيانا بين « السيبرنطيقا الهندسية » والعلم المعروف باسم « **بيونيقا** » bionics وهو علم نشأ من تداخل البيولوجيا مع الهندسة وموضوعه تطبيق المبادئ البيولوجية في الهندسة .

وهنا نقابل مسائل في غاية الصعوبة لم يحل أغلبها الا جزئيا . وما زال هذا الفرع من العلم في دور التكوين ويمكن أن يطلق عليه اسم « اللغويات السيبرنطيقية » cybernetic linguistics .

والسيبرنطيقا اهمية كبيرة لكل من علم الاقتصاد وعلم الاجتماع . وفي هذا الصدد تقابلنا مسائل التحكم في الاقتصاد الوطني والسيطرة على المجتمع الواسع . ويميل البعض الى استخدام اسم « الاقتصاد السيبرنطيقى » cybernetic economy واسم « الاجتماع السيبرنطيقى » cybernetic sociology لفرعى العلم في هذين المجالين .

وتزحف السيبرنطيقا على فروع مختلفة كثيرة من الطب . وهنا يهتم السيبرنطيقون في المقام الاول بالطرق الجديدة لتشخيص الامراض ، وتصميم الاعضاء والاطراف الصناعية ، ووسائل الاثارة الكهربائية الحيوية bioelectro-stimulation . ويحتوى هذا الميدان على مسائل تتعلق بالتحكم في عمليات البناء والهدم في الخلية metabolism of cells . وفي هذا الصدد يأمل البعض أن تشارك السيبرنطيقا في الاستكشاف التفصيلي لأسباب السرطان ، كما تشارك في اكتشاف طرق فعالة للوقاية والعلاج من أجل السيطرة على هذا المرض . ويطلق اسم « السيبرنطيقا الطبية » medical cybernetics على ميدان تداخل السيبرنطيقا مع الطب .

آثار السيبرنطيقا في العلم والتكنولوجيا :

ما زالت السيبرنطيقا في بداية عمرها . وإذا كنا نقارن نموها بنمو الكيمياء مثلا فاننا نجد انها ما زالت في الطور الذى وجدت فيه الكيمياء في أيام لافوازييه اى في آخر القرن الثامن عشر ، عندما كف المشتغلون بها عن شغل انفسهم بالتخمينات ، وبدعوا يكرسون انفسهم للعمل التجريبي الدقيق ، واكتشفوا بعض القوانين الكيميائية الاساسية .

وبالرغم من صغر عمر السيبرنطيقا فقد احرزت حتى الآن نتائج باهرة واثرت في تطور فروع اخرى كثيرة من العلم . ففي البيولوجيا مثلا ادت السيبرنطيقا الى ادراك اعماق لبعض وظائف الكائنات الحية كالاحاساس والتحكم في المزاج . كذلك شاركت السيبرنطيقا في ظهور فروض جديدة كثيرة بشأن تفسير الوظائف التي لم يتم بحثها الى الآن مثل نظرية الذاكرة ، ووظيفة الخلية العصبية ، وشبكات الخلايا العصبية ، وشجرة المعلومات في الخلية الجرثومية . كذلك تأثرت بعض الفروع الجديدة للرياضيات تأثرا عميقا بالسيبرنطيقا مثلما حدث لنظرية الاعلام ، ونظرية الآلات ذاتية الحركة automata ونظرية الالعاب game theory . ومن جهة اخرى نجد ان التكنولوجيا اخذت تستخدم اساليب جديدة طورها السيبرنطيقا . ومن ذلك مثلا طرق جديدة لتوصيل المعلومات ، وانظمة ذات سلوك هادف مبنى على التجربة ، وانظمة ذاتية التنظيم .

فينر والد السيبرنطيقا (١٨٩٤ - ١٩٦٤) :

عندما مات نوربرت فينر في مدينة استوكهولم بالسويد في ١٨ مارس ١٩٦٤ عن عمر يقرب السبعين عاما علم الناس بوفاة « والد السيبرنطيقا » . وبعد ذلك بقليل تألفت لجنة لتخليد ذكراه ، اعترافا بفضله . وقد توجت جهودها بأن ظهر في سنة ١٩٦٩ بعد نحو خمس سنوات من وفاة فينر ، كتاب من ٣٩١ صفحة اشترك في كتابته عشرون من كبار المتخصصين في المواضيع السيبرنطيقية في المملكة المتحدة ، والولايات المتحدة الأمريكية ، والاتحاد السوفيتى .

وبلجيكا ، وهولندا ، وتشيكوسلوفاكيا ، اذ يحتوى الكتاب على مقدمة و ١٩ فصلاً كتب كلا منها كاتب مستقل . *

ولد نوربرت فينر في ٢٦ نوفمبر ١٨٩٤ في المدينة الجامعية كولومبيا (بولاية ميسورى) بالولايات المتحدة الأمريكية وكان والده استاذاً للغات السامية في هارفارد . وظهرت عبقرية نوربرت منذ البداية . فقد حصل على البكالوريوس وعمره ١٤ سنة ، وعلى الدكتوراه في الفلسفة من هارفارد وعمره ١٩ سنة ولم تقف دراسته عند هذا الحد ، فقد درس بعدئذ في كمبردج وجوتنجن . وقام بالتدريس في هارفارد وجامعة مين قبل أن يلتحق في سنة ١٩١٩ بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا ، MIT ، وهو أشهر معاهد التكنولوجيا في أمريكا ، حيث بقي يدرس الرياضيات ويقوم بالأبحاث ويشارك فيها في ميادين العلم المختلفة حتى اعتزل الخدمة كاستاذ للرياضيات في سنة ١٩٦٠ . وقد كتب فينر ٢٠٠ بحث في مجالات الرياضيات والعلوم المختلفة وألف ١١ كتاباً في مواضيع متعددة . وبالرغم من أنه كان من أكبر الرياضيين الذين عرفهم العالم فإنه كان كثير التفكير في المواضيع الانسانية . وقد جاهد كثيراً لكي يلفت أنظار القيادات في المجالات الصناعية والعمالية والحكومة (في أمريكا) الى آثار السيبرنطيقا في الانتاج ، والعمالة ، والقانون . ومنح المداية الوطنية (الأمريكية) للعلم في سنة ١٩٦٣ .

مأخذ على السيبرنطيقا والسيبرنطيقين :

يأخذ البعض على السيبرنطيقا أنها ، كما هو الحال مع الفلسفة ، تغطى ميادين واسعة مما لا يجعل في إمكان الباحث أن يتعمق فيها جميعاً . لذلك نجد أحياناً استعلاء من متخصص عندما يجد الفيلسوف أو السيبرنطيقى يتكلم عن شيء في ميدان اختصاصه هو .

وكذلك يأخذ البعض على السيبرنطيقا أنها كثيراً ما تعالج شيئاً من المواضيع على أنها جديدة ، بينما هى في الواقع معروفة تماماً ، وكل ما في الأمر أنها تقع في الميدان الذى تشمله النظرية العامة لهذا العلم الجديد .

وحتى فينر نفسه لم يسلم من الهجوم ففي المقال الذى كتبه **جرى وولتر** في كتاب **Survey of Cybernetics** السابق ذكره نجد أنه ، بالرغم من الكثير من المديح ، يقول :

« ... وقد وقف فينر من المسائل البيولوجية والاجتماعية والسياسية موقفاً جذرياً وبناءً ، ولو أنه لم يكن مجرد موقف مادي . على أنه في بعض فروضه وتخميناته النظرية كان يبدو أصماً بالنسبة للمشاهدات والضرورات العملية .

« ان هذه الثغرة الخاصة بين النظرية والتطبيق هي سمة للسيبرنطيقا ، وربما فسرت سوء السمعة التى تراكت حول هذا الاسم . فكثيراً ما أدى تحليل سيبرنطيقى الى مجرد تأكيد

* اشيد في الغلاف الداخلى للكتاب بفينر بالكلمات التالية :

Survey of Cybernetics

A TRIBUTE TO DR. NORBERT WIENER

A VOLUME DEDICATED TO THE MEMORY OF THE „FATHER” OF CYBERNETICS

DR. NORBERT WIENER (1894-1964).

أو وصف لظاهرة في البيولوجيا أو الهندسة - ونادراً ما تنبأت نظرية سيبرنطيقية بوجود ظاهرة جديدة أو فسرت ظاهرة . وربما كان الفسيولوجيون بصفة خاصة حساسين للمبالغة في ادعاءات السيبرنطيقين ، فقد كانوا (الفسيولوجيون) يفكرون في « التغذية المرتدة » أى « الفعل الانعكاسي » reflex قبل أن يسد الرياضيون أو المهندسون في رسم الأسهم الوجهة حول « صناديقهم السوداء » بزمان طويل . وفي الغرب يقترن مصطلح « الفعل الانعكاسي » عادة باسم شرنجتون Sherrington . على أن معظم الأفكار المتقدمة (في هذا المجال) نشأت في روسيا بعد نشر سيخينوف I. M. Sechenov في سنة ١٨٦٢ لكتابه « انعكاسات المخ » Reflexes of the Brain في موسكو . وما زالت الملاحظات والتخمينات في ذلك الكتاب تقدم تحدياً للتجربة بالرغم من أن معظمها قد تأكد باستخدام تقنية أكثر تقدماً بكثير مما فكر فيه سيخينوف . ويدين التقدم في صناعة الأدوات instrumentation بدرجة كبيرة للأفكار الحديثة في الالكترونيات والحساب الآلي ، ولكن المعالجة النظرية ما هي الا بادئة فقط في التطور من الحالة التي صنف فيها سيخينوف الانعكاسات الى « بحثة ، أو عاطفية أو نفسية » pure, passionate or psychic ومن مواضيع النقد الأخرى للسيبرنطيقا (وهي مواضيع توجد ضمناً في الدراسة الكلاسيكية للسلوك ، وصراحة في رفض المقارنة الساذجة بين الحيوان والآلة) أن النظم الحية تبدى درجة ما من النشاط النابع منها . وفي سلوك الحيوانات الكاملة نجد أن الاستكشاف علامة مميزة مشتركة يسميها بافلوف انعكاس « اذهب واكتشف » Go and find out reflex أو انعكاس « ما هو الأمر ؟ » reflex « ... What is it ? »

والجدير بالذكر أن وولر نفسه من كبار المشتغلين بالسيبرنطيقا ، وله دور كبير جداً في فرع سيبرنطيقا الأعصاب .

★ ★ ★

٢ - الآلات السيبرنطيقية والسيبرنيشن

المقارنة بين الحيوان والآلة :

يقول بولانجييه في الفصل الأول من كتاب Survey of Cybernetics

« منذ فجر الزمن تمسك ذهن الإنسان بالاعتقاد بأن هناك فرقاً أساسياً بين صفات المادة الحية وغير الحية . وهذا بالضبط هو الاعتقاد الذي هاجمته السيبرنطيقا رأساً بشجاعة تساندها وتغذيها انتصاراتها الأولى .

« دعني اعطى مثالا حيا .

اننا نشعر جميعاً بأن هناك فرقاً جوهرياً بين سلوك حيوان متوحش يصطاد في الغابة عند حلول الليل وسلوك حجر يتدحرج على جانب جبل . فحركة الحجر تحكمها قوانين فيزيائية يعرفها الجميع ، بينما حركات الحيوان تبدو غير مقيدة بهذه القوانين ، فالحيوان يشرع من أجل هدف . أنه يخرج لاقتناص فريسة . وهو يصل الى فرضه بالرغم من العقبات في طريقه ، وذلك - في امتقاداتنا - بفضل درجة معينة من الاستقلال عن البيئة ، ودرجة من حرية العمل ، لا تتوافران للحجر الساقط . فسلوك الحيوان يكون لهدف ، في حين أن سلوك الحجر ليس كذلك . وقد بقي الإنسان يرى ، في هذا العامل ، الفرق الجوهرى بين الحى والجما ، بين الحيوان والآلة .

« ويكاد لا يكون من الضروري أن نقول أن هذه النظرية قد عفى عليها الزمن . فمهندسونا يبنون - وقد بقوا يبنون لبعض الوقت - آلات ذات سلوك هادف ، آلات يمكنها أن تتبع وتحقق أهدافاً قد حددت مقدماً . ومثال بسيط على ذلك : الفرن الكهربائي الذي يتحكم في درجة حرارته ثرموستات . ومثال آخر : الطيار الآلي الأوتوماتيكي . ومثال ثالث : القديفة الموجهة عن بعد ، والتي تحتاج فقط إلى التصويب في اتجاه تفريبي للطائرة المطلوب إسقاطها .

« أنه لشرف دائم لعالم الرياضيات الأمريكي نوربرت فينر أنه رأى العلاقة بين السلوك الهادف للآلة والسلوك الهادف للحيوان ، وأنه كان أول من قال بوضوح أننا إذا لاحظنا امثلة للسلوك الهادف في الطبيعة (أى السلوك الموجه نحو هدف محدد من قبل) ، وإذا كنا قادرين على بناء آلات يمكنها السلوك بنفس الطريقة ، فإن المبادئ الأساسية لكليهما متطابقة . أن ما نعالجه في الحالتين هو نتيجة تقوم برد فعل على السبب الذي أنتجها ، ألا وهي التغذية المرتدة .

« وما أن قبل الناس هذا التشابه حتى كان من المفروض أن يفترضوا ، كما فعل فينر ، أن السلوك الهادف - سواء كان من المادة الحية أو الجماعية - يجب أن يدرس من نفس الاطار . وفي ذلك اليوم ولدت السيبرنطيقا »

فهل وقع بولانجيه في « مطب » المقارنة الساذجة بين الحيوان والآلة ، ذلك المطب الذي أشار إليه وولتر في كلامه عن مواضيع نقد السيبرنطيقا ؟ أننا لو قرأنا كلام بولانجيه بامعان فلن نجد أنه نفى وجود علامات مميزة في سلوك الحيوان ، كما لم ينفي وجود درجة ما من النشاط يبدية الحيوان وينبع منه . أن ما يشير إليه بولانجيه هو قبول الناس للتشابه بين مبادئ كل من السلوك الهادف للحيوان والسلوك الهادف للآلة . وعلى أي حال ، ليس الإنسان هو الذي يعطى الآلة سلوكها الهادف ؟ وإذا كنا نشك في تفسير كلام بولانجيه على هذا الأساس فبماذا نفسر كلام وولتر نفسه عندما يقول : (١١)

« إذا علمنا خواص عديدة لنظام ما ثم أنشأنا أبسط نموذج يمكن أن تكون له هذه الخواص فإنه يكون من المسموح لنا أن نفترض أن النظام الأصلي يحتوى على مكونات يمكن مقارنتها بتلك الموجودة في النموذج » .

ويقودنا هذا الكلام إلى البحث عن خواص الكائن الحي التي لا يمكن وجودها في أي نموذج غير حي . لقد ذكر وولتر إحدى هذه الخواص عندما قال : « أن النظم الحية تبدى درجة ما من النشاط النابع منها » . وهذا هو أحد الفروق الأساسية بينها وبين الجماد . ومن الفروقات الأساسية الأخرى أن جزيئات المادة الحية يمكنها أن تتكاثر في بيئة معادية . وذكرونا ذلك بقصة تنحكي عن الفيلسوف والرياضي الفرنسي ديكارت . فقد قيل أنه عندما ذهب إلى البلاط السويدي أخذ يشرح للملكة نظريته عن التشابه بين الحيوان والأوتوماتون (الآلة التي تقوم بعمل من أعمال الحيوان) . ولكن الملكة أفحمته بفولها « وهي تشير إلى ساعة حائط : » دعها إذن تنجب لنا بعض الدرية » .

ويجربنا هذا الكلام بدوره إلى قصة الأوتوماتون الذي « يستطيع صنع مثيل له » أو

Fuchs, W. R. : Cybernetics for the Modern Mind, Macmillan, New York (1971) P. 329. (١١)

الذى « يستطيع الانجاب » والذى وضع تصميمه عالم الرياضيات الكبير **جون فون نويمان** John von Neumann (١٩٠٣ - ١٩٥٧) . ومن خواص هذه الآلة العجيبة أنها تستطيع أن تحسن نفسها من « جيل » الى « جيل » باتخاذ تركيب متزايد في التعقيد . ومع أن هذه الآلة لم تصل بعد الى مرحلة الصنع فإن صنعها ممكن نظرياً . ولكنها تتكون من ٢٠٠.٠٠٠ عنصر وليس هناك من يقبل الانفاق على صنعها لمجرد مشاهدتها « تنجب » جيلاً آخر عندما تقدم لها العناصر اللازمة . وتتضمن هذه الجملة الأخيرة الفرق الجوهرى بين انجاب أى كائن حي وانجاب هذه الآلة التي يصفها العالم السوفيتي **بوليتايف** I. A. Poletaiev بقوله (١٢) :

« تتلقى الآلة معلومات الادخال المكتوبة على سلسلة من عناصر الآلة نفسها . ويمكن أن يسجل في البرنامج أى عملية مرغوب فيها باستعمال الأجزاء التي تحيط بالآلة وكذلك المواد الخام .

» ويمكن للآلة ان تقوم بتنفيذ أى خطة تتمشى مع البرنامج . ولكي تعيد الآلة بناء نفسها بكفى أن يسجل في البرنامج بناء صورة طبق الأصل منها ، وعمل نسخة من البرنامج ، ونقل البرنامج الى الآلة الجديدة ووضعه موضع التنفيذ وفق البرنامج » .

ويمكن لعملية إعادة انتاج الآلة لنفسها أن تستمر طالما يوجد مواد جديدة وغذاء (رصاص وترانزستورات ، الخ) وطالما كانت « ذرية » هذه الآلة لا توجد فى طريق بعضها البعض . ويذكر بوليتايف الفرق بين هذه الآلة والكائن الحي بقوله :

« ليس للكائن الحي تركيب ثابت . فتركيبه وعمله يتغيران باستمرار مع النمو والتطور وتراكم الخبرة . أما الآلة فإنها لا تعيد بناء أجزائها ، ولا تزيد عدد مكوناتها . وينقصها عملية بناء وهدم الخلية metabolism بالرغم من أن تركيبها يتغير أثناء عملها وأنه يمكن لمبتكرات التحكم أن تستبدل عناصرها . وبعبارة أخرى لا تذهب الآلة للبحث عن الطعام ، أي المواد الخام . ولذلك فإنه لا يمكنها أن توجد بدون مساعدة الانسان » .

وليس الفرقان اللذان ذكرهما بوليتايف بين الكائن الحي وآلة فون نويمان (التي تستطيع الانجاب) هما كل شيء . فقد يكون من الممكن تعديل تصميم هذه الآلة بحيث تستطيع تغيير تركيب نفسها وبحيث تقوم من تلقاء نفسها بالبحث عن المواد الخام . ولكن هل سينبع شيء من ذلك منها ، أم سينبع من « فون نويمان » آخر يقوم بإجراء التعديلات اللازمة في التصميم ؟

ولا يحتاج المرء أن يقول أنه بالرغم من أن السيبرنطيقا قد جعلت في إمكان البيولوجيين والتكنولوجيين أن يتحدثوا بلفة واحدة في أمور كثيرة فإنه مما لا شك فيه أن « الحياة » قد بقيت محافظة على أسرارها . وكل ما نجحت فيه السيبرنطيقا هو تحديد هذه الأسرار .

الانسان الآلي (الروبوت) : robot

تأتي كلمة روبوت من الكلمة التشيكية القديمة robotnik ومعناها خادم أو عبد . وقد أدخلها في اللغات الحديثة الكاتب التشيكي **كاريل كابييك** Karel Kapek عندما ألف في سنة ١٩٢٢ رواية R.U.R. (وهي الحروف الأولى من Rossum's Universal Robots) . وفي هذه الرواية تقوم

الآلات - التي يصنع منها « روصوم » اعدادا كبيرة جداً - بكل الاعمال في العالم . وفي مبدأ الامر يسير كل شيء على ما يرام وتتحقق كل احتياجات ومسررات البشر طالما ان آلات الروبوت ليس لها احساساتها الخاصة بها . وفي يوم من الأيام يقرر مدير مصنع هذه الآلات أن ينتج نوعاً أعلى منها يكون لها احساسات الانسان بالسعادة والألم . وعندما يحدث ذلك تثور الآلات الروبوت على أسيادها الأذميين وتحطم كل البشر .

على أن الروبوت او الاوتوماتون الحديث ، ليس ذلك الشيء الخيالي ، في نظر العلم على الأقل (فما زال بعض كتاب القصص الخرافية يملأون قصصهم بالآلات الروبوت ذات الأحاسيس والنفوس الشريرة) . وفي السيبرنطيقا يعرف الروبوت (الانسان الآلي) كما يلي :

الروبوت (أو الاوتوماتون automaton) هو آلة يمكنها أداء سلسلة من الأفعال يقرر الفعل التالي بعد كل منها ، بدون ابهام ، اما حسب نتائج الأفعال السابقة ، أو حسب البيانات التي تستقبل من المناطق المحيطة (بما في ذلك أي مولدات للتشويش) ، أو حسب الأمرين معاً .

فالقرار الذي يتخذه الاوتوماتون يتوقف على واحد على الأقل من الأمرين التاليين :

١ - نتائج الأفعال السابقة للاوتوماتون .

٢ - البيانات التي يتلقاها الاوتوماتون من المناطق المحيطة .

على أنه قد يتوقف كذلك على :

٣ - الصدفة .

وفي الاوتوماتون الحاسبة الصرفة (الكمبيوترات) تسود الحالة الاولى . وفي الاوتوماتونات التي يكون عليها أن تقوم بعملية تحكم يوجد خليط من الحالتين الاولى والثانية .

ومن الأمثلة على الاوتوماتونات التي يكون فيها للصدفة ميزة كبيرة نذكر الطيار الاوتوماتيكي لطائرة حربية ، فكلما قل امكان التنبؤ بحركاتها ، كلما صعب اصابتها .

قدرات الروبوت وحدودها :

تحت عنوان بهذا المعنى كتب الدكتور شو J. F. Schuh من شركة فيليبس بهولندا مقالةً انهاء بالملاحظات الآتية : (١٢)

« ان ما حاولت أن اوضحه فيما سبق هو أن كل الأفعال ، والوظائف ، والعمليات ، التي يمكن اعطاء تعليمات غير مبهمه بشأنها يمكن للاوتوماتون أن يقوم بها . على أن هذه هي كل الأفعال ، والوظائف ، والعمليات التي يمكن للاوتوماتون أن يقوم بها ، أي التي يمكن وضع برامج لها يستطيع الاوتوماتون أن ينفذها .

« وفي الوقت الحاضر يتقدم فن البرمجة تقدماً لا بأس به . فعلى سبيل المثال استغرق

أحد الاوتوماتونات دقائق قليلة لكي يثبت ٢٠٠ نظرية من كتاب : Whitehead and Russell's Principia Mathematica وبعض هذه البراهين أحسن من البراهين المعروفة .

« على أنه توجد لمقدرة الروبوت حدود خاصة . فعلى سبيل المثال نجد أنه لم يُصنع الى الآن اوتوماتون يستطيع أن يجارى فرازا بشريا عاديا للبريد في قراءة العناوين المكتوبة باليد . كذلك لم يُصنع أي اوتوماتون يستطيع أن يترجم قطعة فرنسية صحيحة القواعد الى قطعة انجليزية صحيحة القواعد .

« ولنرجع لحظة الى الاوتوماتون الذي يستطيع أن يبرهن النظريات . ان السؤال الذي يفرض نفسه في الحال هو ما اذا كان من الممكن صنع اوتوماتون يستطيع أن يكتشف نظريات ، وهو شيء آخر تماما . ولتوضيح ذلك ، خذ هندسة اقليدس . اننا اذا بدأنا من مسلمات (بديهيات) هذه الهندسة فانه يجب من الوجهة النظرية ، أن نجد حتما كل نظرياتها بان نربط هذه المسلمات في كل التوافقات الممكنة باستخدام كل قواعد المنطق المعروفة . على أنه على الفور يثار السؤال : كيف يستطيع الاوتوماتون وحده ان يجد المسلمات ؟ واذا مررنا على هذا السؤال المثير للحرج ، وافترضنا اننا اخبرنا الاوتوماتون بهذه المسلمات ، فانه قبل أن يصل الاوتوماتون الى نظرية « باسكال Pascal » على القطاعات المخروطية مثلا سيكون عليه أن يبحث في « شجرة » من الامكانيات لها من كثرة الفروع ما يجعل مواد الكون كله غير كافية لبناء ذاكرة ذات سعة كافية لتخزينها . وبالإضافة الى ذلك . فإن البحث المنظم في هذه الشجرة سيأخذ وقتا يزيد على عمر الكون . وذلك لأن الشجرة تحتوى على مالا يمكن عدده من الفروع ذات « النهايات الميتة » كما أنه لا يمكن — في الوقت الحاضر على الأقل — أن يعطى الاوتوماتون وسيلة للتعرف على هذه الفروع عند بداياتها . وما زال من اسرار الحياة كيف أمكن قادة العلم أن يفعلوا ذلك ، ولكل شخص الحرية في أن يحدو حدو عالم الاقتصاد البريطاني الكبير آدم سميث (١٧٢٣ - ١٧٩٠) ويفكر في « يد خفية » تقوم بالارشاد .

« ان ما ظهر بشكل واضح مما سبق هو أن بعض الوظائف التي نعتبرها ذات طبيعة بدائية وبعيدة عن أن تكون ذهنية هي في الواقع أصعب بكثير على « الأتمتة » من بعض الوظائف الأخرى التي نعتبرها ذهنية نموذجية . وانه من المدهش حقا أنه يمكننا تصميم اوتوماتون يمكنه أن يلعب الشطرنج أحسن مما يستطيع أي لاعب بشري جيد ، ولكننا عاجزون عن تصميم اوتوماتون قارئ يستطيع أن يفعل أي شيء مما يقوم به فراز بريدهادى .

« انه يبدو لي أن السبب في هذا التناقض الظاهري هو أننا نعرف ، في الوقت الحاضر على الأقل ، من المبادئ التي على أساسها نلعب الشطرنج أو نبرهن النظريات أكثر مما نعرف من المبادئ التي على أساسها نعرف على الاشكال ، ونضع أفكارنا في كلمات الخ . . ويعود هذا الجهل الى أننا نقوم بالوظائف الأخيرة عند مستوى ما من عدم الوعي ، كما أنه لا يمكن الوصول اليها من الداخل . ان التفكير العلمي ، وخاصة التفكير الخلاق ، يحدث في جزء كبير منه ، وربما في معظم أجزائه ، بعدم وعي منا . وهذه الوظائف التي نقوم بها بدون وعي هي التي لم يُصنع أي اوتوماتون مرضى للقيام بها » .

الاوتوميشن والسيبرنيشن :

يمكن تعريف « الاوتوميشن » بأنه « تطوير العملية الصناعية لكي يصبح التحكم الاوتوماتيكي

فيها متمشياً مع البيانات المتعلقة بالعملية ، وغير محتاج الى تدخل الانسان الا للاشراف النهائي» . ويتضمن ذلك التطوير في درجاته العليا استخدام الكمبيوتر الالكتروني . وسوف نجارى بعض الاتجاهات الحديثة ونطلق لفظ « السيبرنيشن Cybernation » على عملية الاوتوميشن في هذه الدرجات .

ومن أهم ما يعنى به الاوتوميشن ، او السيبرنيشن : « التخلص على قدر الامكان من القوى أو العوامل المختلفة التي لو تركت شأنها لاختلف الانتاج النهائي بدرجة ما عن المواصفات المطلوبة » . ويمكن تقسيم تلك العوامل الى سبعة أقسام رئيسية هي :

- ١ - العوامل المتعلقة بالمواد الخام مثل احتوائه على شوائب ، أو نقص في أحد مكوناته ، أو عدم ثبات نسب هذه المكونات .
- ٢ - التغيرات الجوية (مثل تغيرات درجة الحرارة أو الرطوبة أو الضغط الجوي) اذا كانت مما يؤثر في سير العملية .
- ٣ - التغيرات التي تحدث للطاقة المستخدمة في العملية (سواء كانت طاقة حرارية او كهربية الخ) .

٤ - البلى أو التآكل الذي يصيب آلات الانتاج .

٥ - اخطاء الانسان ونسيانه .

٦ - عدم الكفاءة الناتج من الاهمال .

٧ - الاضطراب المتراكم الناتج من الاهمال .

ولمواجهة هذه العوامل ، أو ما يوجد منها متدخلاً في سير العمل ، فان عملية الاوتوميشن ، أو السيبرنيشن ، قد تتضمن الخطوات أو الأشياء الآتية :

١ - القياس الاوتوماتيكي و«اشارات العملية» Process Signals للإبلاغ عما يحدث .

ب - «اشارات الأوامر» Command Signals وهي أوامر تغطى العملية ككل وليس من الضروري أن توضح كيف تتم تفاصيل العملية .

ج - الكمبيوتر الالكتروني المركزى الذى يقوم باستقبال « اشارات العملية » التي تبلغ عما يحدث ، و « اشارات الأوامر » التي تغطى العملية ككل . والوظيفة الرئيسية لهذا الكمبيوتر هي تقرير كيف ومتى يحدث التحكم في العملية ، ثم اصدار تعليمات التحكم اللازمة .

د - اثارة التشغيل actuation وهي تحويل تعليمات الكمبيوتر الى عمل فعلي .

ويمكن تقسيم نظم الاوتوميشن الى عدة اقسام أهمها ثلاثة هي :

١ - نظم التغذية المرتدة ، وقد سبق الكلام عنها .

٢ - **نظم التغذية الى الامام** feedforward systems . وهي نظم تحتوى على درجة من العشوائية من جهة كمية ونوعية مواد الادخال، ولا يفيد فيها اشارات التغذية المرتدة حيث تأتى بعد فوات الأوان . ولذلك فانه في هذه النظم تأتى « اشارات العملية » من الادخال لكي يعمل التحكم على التصحيح اللازم لكمية ونوعية مواد الادخال. (مثال ذلك انه في احدى الصناعات يلزم أن تكون الرطوبة في المواد الخام ١٠ ٪ في بعض الحالات والا تزيد نسبة القلويات عن حد معين . ولذلك يلزم اجراء بعض التحاليل على المواد الخام باستمرار واعطاء « اشارات العملية » متضمنة البيانات اللازمة) .

٣ - **نظم برامج الأوامر** command programmed systems وفيها لا يحدث ارسال «اشارات العملية» بصفة رئيسية من الادخال ، ويتكون برنامج الأوامر من سلسلة من التعليمات . ومن الامثلة على هذا النوع من النظم المخرطة الميكانيكية التي تستطيع صناعة عدة آلاف من الاجزاء المختلفة حسب طريقة اقامة المخرطة والتعليمات الصادرة اليها من البرنامج . ويحتاج ذلك بطبيعة الحال الى مبتكرات لاعطاء اوامر البرنامج (مثل البطاقات او الشرائط المثقبة) .

تباطؤ الارتفاع في درجات السيبرنيشن :

ان الأساس الجوهرى للسيبرنيشن ، أو الأوتوميشن ، هو التحكم . ويبدأ الأمر باستخدام التحكم في أمور بسيطة ، مثل تحريك المواد ووضعها في الأماكن المطلوبة ، ومن ثم تداولها . وقد يتبع ذلك قطعها وتشكيلها وتجهيز مكونات بسيطة منها، واجراء بعض القياسات والاختبارات عليها، ثم تجميعها . وباستخدام أدوات بسيطة يتحكم في عملها أجهزة مثقبة وأدوات قياس الكترونية ، ثم بتصعيد الأتمة باستخدام أدوات تحكم يتحكم فيها ، بدورها ، التغذية المرتدة وهكذا ، قد تستطيع التكنولوجيا بناء أنواع من المصانع هي في الواقع آلات تقوم بصنع آلات ومنتجات على درجة عالية من الدقة . وعاما بعد عام يزداد وضوح تصورنا لامكان وجود مجتمع صناعى لا يكاد يوجد فيه عمال صناعيون .

على أن المشاهد انه حتى أكثر الدول الصناعية تقدما تتحرك ببطء ملحوظ نحو الأتمة الكاملة . ولعل ذلك يعود الى سببين :

السبب الأول انه كلما زادت درجة الأتمة تصاعدت التكاليف بدرجة أكبر ، وذلك مع عدم وجود تنظيم يسمح باسترداد التكاليف الزائدة بالكامل . فاذا أدى ارتفاع درجة الأتمة الى زيادة الانتاج الى عشرة أمثاله مثلا ، فهل يكون من الممكن بيع كل الانتاج ؟

والسبب الثانى أن الأتمة تؤدي الى الاستفتاء من عدد كبير من العمال . فاذا زادت درجة الأتمة عن حد معين فهل يمكن ايجاد أعمال لكل العمال المستغنى عنهم ؟

الكمبيوتر في الإدارة :

في كتاب Survey of Cybernetics فصل عن « سيبرنطيقا الادارة » كتبه الدكتور كروفورد جاء فيه :

يقول فينر في كتاب The Human Use of Human Beings :

« ... وأي استخدام لواحد من البشر ينسب اليه فيه ما يقل عن مكانته ما هو الا حط من القدر وتبديد . انه لما يحط من قدر الانسان أن يربط الى مجدف ويستخدم كمصدر للقوة ،

ولكنه يكاد أن يتساوى مع ذلك من حط القدر أن يكلف الانسان بعمل (في مصنع) يكون تكرارياً بحثاً ولا يتطلب منه الا اقل من جزء من مليون من قدرته الذهنية .

« وفي سنة ١٩٦٩ ليس الانسان فقط هو ما حط من قدره ، ولكن ذلك حدث أيضاً للكمبيوتر . لقد اشترت بعض المؤسسات هذه الآلات بدون فكرة كافية عن استخداماتها . ومن المؤكد أن البعض قد سأل : « كيف أستطيع استخدام الكمبيوتر في منشأتي ؟ » ولكن السؤال ، كما أوضح ستافورد بير Stafford Beer ، غبي . ويقول بير أنه كان من الأفضل أن يسأل السائل : « كيف يجب أن تكون منشأتي بعد أن أصبح الكمبيوتر شيئاً قائماً ؟ » ويتضمن هذا السؤال الجديد قوة الكمبيوتر الحديث للعمليات الحسابية ولتغيير الأساس الكلي للمنظمة . فمن الواضح مثلاً في هذا الصدد أن « ذاكرة » المنظمة ستكون أكثر باستخدام الكمبيوتر . وباستخدام التسهيلات المناسبة لاسترجاع البيانات ستختفي المناقشات عما حدث حقاً في « المرة السابقة » أو في السنة الماضية الخ . وباستخدام الكمبيوتر يكون من الممكن كذلك انشاء واختبار النموذج التنظيمي الذي يسمح بالاختيار الصحيح للأهداف الفرعية واختبارها . وهكذا يصبح الكمبيوتر جزءاً متكاملًا من الخدمة التي تقدمها الإدارة الموجودة على قمة العمل . على أنه من المحزن أن نقول أنه لم يحدث من الموجودين عند ذلك المستوى الا القليل من استخدام الكمبيوتر .

وهنا يمضي كروفورد في ذكر العلاج الذي يراه لهذه الحالة .

وبدل هذا الكلام عن استعمال الكمبيوتر في بريطانيا (على الأقل) على أن الناس ما زالوا بعيدين عن الاستخدام الصحيح للكمبيوتر في الإدارة ، مذهب من أكبر مستلزمات عصر السيبرنيشن .

★ ★ ★

٣ - الجهاز العصبي والكمبيوتر

اكتشاف الخواص الكهربائية للأعصاب :

قبل سنة ١٧٥٠ قام عدد من الباحثين بنشر تقارير عن مشاهداتهم لانقباض عضلة حيوان أو انسان حديث الوفاة عند ملامسة مولد للكهربائية الاستاتيكية أثناء تفريغ شحنته . وقبل ثلاثين سنة أخرى نشر اثنان أو ثلاثة من الباحثين تخميناً بأن الصدمة التي تنشأ من ملامسة سمكة « الطوربيد » ذات طبيعة كهربية . وفي سنة ١٧٩١ بدأ **لويجي جلفاني** Luigi Galvani في نشر أبحاثه عن الكهرباء الحيوانية . وقد عرف فيما بعد أن معظم آرائه كانت خاطئة . ولكن المهم أنه لفت الأنظار الى حقيقة من أهم حقائق علم الحياة ، ألا وهي الأساس الكهربى لعمل الأعصاب .

كان جلفاني محاضراً عاماً في علم التشريح في جامعة بولونيا منذ سنة ١٧٦٢ حتى وفاته سنة ١٧٩٨ . وفي أيامه عرف الناس أنه يمكن توليد تيار كهربى في ظروف معينة إذا ضم معدنان مختلفان مثل النحاس والتخديد ، كما أنه كان يعلم أن الأعصاب تتحكم في عمل العضلات ، فإذا ضغط مثلاً بشدة على العصب الرئيسى لعضلة ضفدعة فإنها تنقبض . وقد قام جلفاني بتجارب استمرت عدة سنوات على ستينان ضفادع معلقة من خطافات نحاسية ومستندة الى قضبان حديدية . وفي الجزء الأول من القرن التاسع عشر تحقق ، في كثير من المختبرات ، الاستنتاج بأن

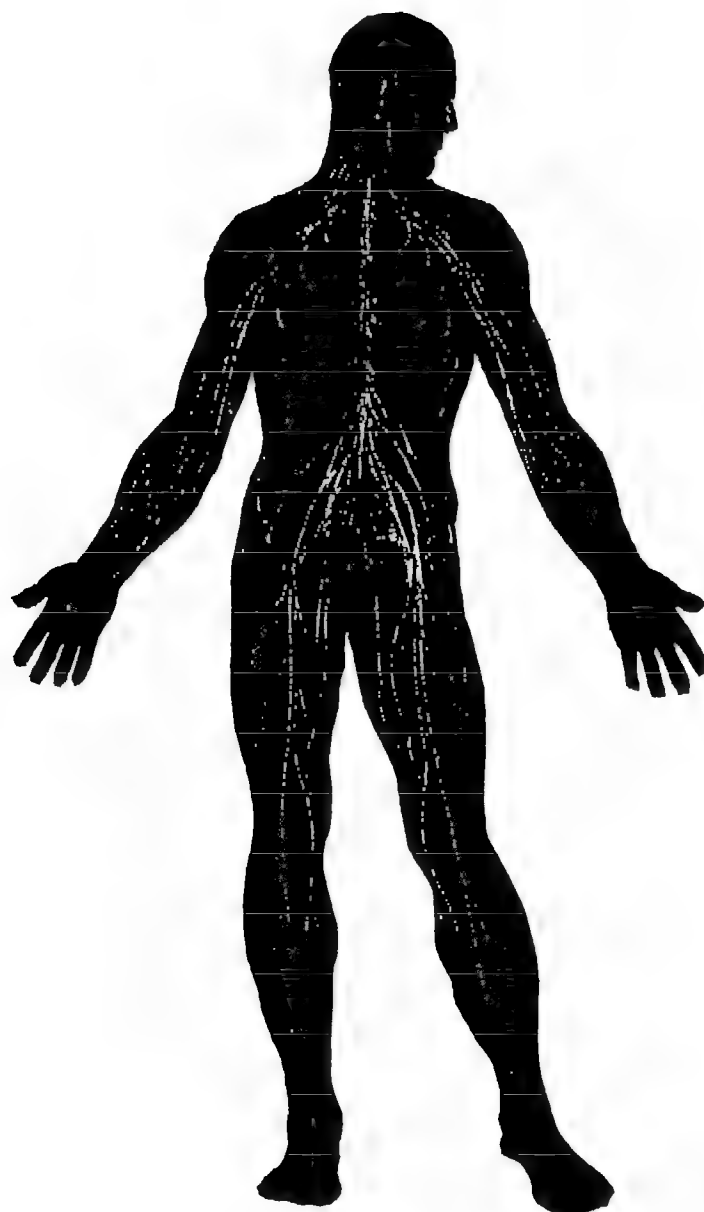
انقباض سيقان ضفادع جلفاني سببه تيارات كهربية في الأعصاب المتصلة بها . وقد اكتشف كذلك أن هذا الأمر لا يقتصر على الضفادع وحدها ، وإنما يتعداه الى جميع الحيوانات التي أجريت عليها تجارب مماثلة ، ولا يشد من ذلك الإنسان . فمهما كان الحيوان فان التيار الكهربائي الذي يمر في عصبه يتحكم في عضلة معينة يسبب انقباضها . وعندما أجريت مثل هذه التجارب على الحيوانات الحية ثبت بصفة نهائية أن الباحثين كانوا يعالجون إحدى خواص الأنسجة الحية . أما وجود الظاهرة في الحيوانات الميتة فقد كان سببه أن أنسجة الأعصاب والعضلات تبقى حية وفي حالة صحية جيدة نسبياً لفترة مابعد نفوق الحيوان نفسه ، وتطول هذه الفترة اذا بذلت الجهود المناسبة لحفظ تلك الأنسجة .

على أنه بالإضافة الى الأعصاب التي تتحكم في استجابة العضلات يوجد نوع آخر من الأعصاب تصل العضلات بالدماغ ولكن تغيير حالتها لا يسبب رد فعل من هذه العضلات . فقد وجد الباحثون أن الاثارة الكهربائية لهذا النوع من العضلات لا تسبب اثراً مرئياً . إلا أنه بتقديم وسائل القياس وجد أن شد العضلة المتصلة بعصب من هذا النوع يولد تياراً كهربياً في ذلك العصب .

وباستمرار القيام بالتجارب نجح الباحثون في أوائل القرن التاسع عشر في إثبات الطبيعة الكهربائية لعمل كل من الأعصاب « الحركية » (ويطلق أيضاً عليها اسم الصادرة efferent وهي التي ترسل الاشارات عن طريقها من الحبل الشوكي أو الدماغ الى العضلات فتسبب انقباضها) والأعصاب « الحسية » (ويطلق عليها أيضاً اسم الواردة afferent وعن طريقها تقوم العضلات بإرسال المعلومات عن حالة استئطالتها أو انقباضها الى المراكز العصبية) . وقد تبع ذلك اكتشاف أن الخواص الكهربائية لعمل الأعصاب هي من صفات الجهاز العصبي كله . فقد وجد أن الأعصاب الواردة تبعث اشاراتها بوسائل كهربية دائماً ، سواء كانت وظيفتها بيان الاستئطالة في عضلة ، أو اللمس ، أو الرؤية ، أو الصوت ، أو الرائحة ، أو الضغط ، أو الألم ، أو الدفء ، أو التركيب الكيميائي ، أو بيان أي شيء عن الحواس الكثيرة الأخرى التي تقوم بإعطاء المعلومات اللازمة لحفظ صحة الحيوان . كذلك وجد أن كل الاشارات المنبعثة عن طريق الأعصاب الصادرة هي الأخرى كهربية ، سواء كانت متجهة الى مؤثرات ذات طبيعة ميكانيكية كالعضلات أو كيميائية كالغدد .

وبالرغم من أهمية هذه الحقائق التي تم اكتشافها في القرن التاسع عشر فإن قصور وسائل البحث في ذلك القرن لم يجعل من المستطاع الإجابة على أسئلة كثيرة بشأن تفاصيل الظواهر المكتشفة . مثلاً : عندما يثار مستقبل اللمس في الجلد الخارجي لحيوان التجربة ، فبأي سرعة تسير الإشارة الكهربائية نحو الدماغ؟ وإلى متى يستمر العصب في توليد التيار بعد إزالة الاثارة؟ ولم تعرف الإجابة على الأسئلة من هذا القبيل حتى جاءت الوسائل الحديثة للقياس الدقيق . وقد عمل اختراع مقياس الدبذبة باستخدام أشعة المهبط cathode - ray oscilloscope بوجه خاص على إمكان قياس الظواهر الكهربائية القصيرة الأمد . وباستعمال الأدوات الإلكترونية تمكن الباحثون في السنوات الأخيرة من الوصول الى الكثير من الاكتشافات المثيرة بشأن عمل الجهاز العصبي .

ومن الحقائق الهامة حول ما يحدث في عصب وأرد عندما تشد العضلة المتصلة به لتزيد استئطالتها (صناعياً) بالتدريج البطيء ابتداء من حالة الارتخاء أنه لا يحدث تيار في مبدأ الأمر . وإذا ثبت مقدار الشد عند ذلك الحد فلن يحدث تيار مهما طال الوقت . ولن يتولد التيار ما لم تصل الاستئطالة الى درجة معينة ، تسمى « العتبة » threshold ، وهي الحد الأدنى



شكل (١٠)
الجهاز العصبي للإنسان

الذي يجب أن تتمده استطالة العضلة حتى يتولد التيار في العصب المتصل بها . على أن ذلك التيار لن يكون مستمراً ، وإنما يتكون من سلسلة من النبضات . ويرتفع التيار من صفر الى النهاية العظمى في بضعة أجزاء من عشرة آلاف من الثانية ، ثم يهبط بالتدريج نسبياً الى الصفر مرة أخرى ، وتستغرق كل هذه العملية جزءاً من ألف من الثانية تقريباً . وبعد كسر من الثانية تحدث نبضة أخرى . ويتباعد هذه نبضة ثالثة ، ثم رابعة ، وهكذا . وتستمر سلسلة النبضات طالما بقيت العضلة مشدودة بنفس الدرجة .

وما الذي يحدث اذا زيدت استطالة العضلة ؟ ستكون النبضات من نفس نوع النبضات السابقة ، مع فرق واحد هو أن عددها سيكون أكثر في الفترة الزمنية الواحدة . وكلما زاد الشد على العضلة زاد معدل توليد النبضات حتى يصل الأمر الى نقطة التشبع للعصب .

ولا تقتصر هذه الظاهرة على عضلات وأعصاب حيوان معين ، فهي عامة لكل أنواع الحيوان . وسواء كان العصب الوارد مما يبين الشد ، أو اللمس ، أو البرد ، أو الدفء ، أو الصوت ، أو البصر ، أو التركيب الكيميائي ، فإنه يبعث المعلومات بواسطة سلسلة من النبضات الكهربائية لكل منها نفس المقدار ونفس فترة الاستمرار تقريباً بصرف النظر عن شدة الاثارة ، مع ازدياد معدل توليد النبضات بازدياد الاحساس . وخاصاً « العتبة » و « التشبع » عامتان لكل الأعصاب الواردة .

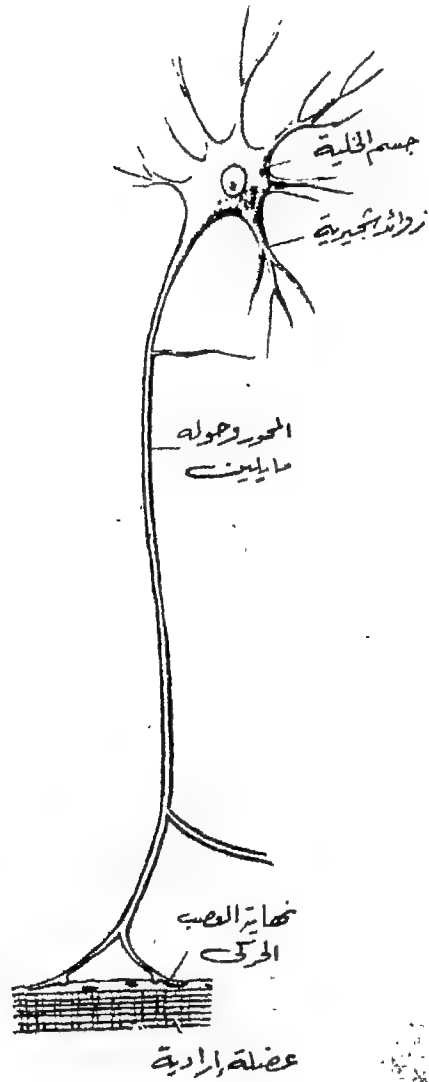
ولا تقتصر الخواص السابق ذكرها على الأعصاب الواردة . فهناك نفس الخواص للأعصاب الصادرة ، سواء كانت تحمل الاشارات الى العضلات أو الى الغدد .

وهكذا يبدو أن الخاصية الأساسية للجهاز العصبي هي أنه ينقل المعلومات بوسائل كهربية وأن التوصيل الكهربى فيه يكون على أساس « كل / أو / لا شيء » ، كما لو كان الأمر يتم بواسطة مفاتيح مما يستخدم في اغلاق وفتح الدوائر الكهربائية .

الخلية العصبية : neuron

يتكون النسيج العصبي في معظمه من خلايا غير منتظمة الشكل من نوع خاص لا توجد في الأنسجة الأخرى للجسم . وتتكون الخلية العصبية من « جسم » له زوائد تعرف باسم « الزوائد الشجرية » dendrites . وتستطيل إحدى هذه الزوائد لتكون ما يعرف باسم « المحور العصبى » axon أو « الليفة العصبية » . وبينما يكون لكل الخلايا العصبية شكل عام واحد فإنها تختلف فيما بينها اختلافاً كبيراً في تفاصيل تركيبها وأبعادها . ففي المسارات الطويلة من أطراف الجسم الى دماغه قد لا يوجد في بعض الأحوال غير ثلاث خلايا على شكل سلسلة في قناة التوصيل الكاملة بين نهاية الطرف والدماغ . وفي مثل هذه الحالة قد يصل طول الليفة العصبية الى قدمين أو ثلاثة أقدام في حين يقل قطر جسم الخلية عن جزء من مائة جزء من البوصة . وفي حالات أخرى ، وخاصة في الدماغ ، قد يكون طول الخلية في اكبر أبعادها متساوياً بضع أجزاء من الألف من البوصة .

وتصنف الخلايا العصبية حسب وظائفها الى ثلاثة أنواع عامة هي : (١) الخلايا الحسية او المستقبلية (٢) الخلايا الحركية او الصادرة (٣) الخلايا المتوسطة . ويمكن النظر الى هذه الأنواع على أنها ، على الترتيب : (١) أدوات ادخال input (٢) أدوات اخراج output (٣) كل شيء بين هذين النوعين . وبصرف النظر عن الاختلاف في الحجم والشكل فإن اكبر الشدوذ في



شكل (١١)
خلية عصبية (النيورون) .

التركيب يظهر في بعض الخلايا المستقبلية التي يوجد باواخرها نهايات تعمل على تحويل الضغط، او التركيب الكيميائي، او درجة الحرارة، او اية كمية فيزيائية اخرى يراد قياسها، الى نوع من الاشارة الكهربائية الكيميائية التي تكون الخلية مصممة لمعالجتها . ويوجد في جسم الانسان نحو ١٠ آلاف مليون خلية عصبية من الانواع الثلاثة . ولكن اكثر من ٩٠٪ منها (بما في ذلك معظم خلايا الدماغ نفسه) من النوع المتوسط .

وتقوم الأجزاء المختلفة من الخلية العصبية بمهام مختلفة . فالنبضة العصبية تتولد في جسم الخلية، والمحور العصبي هو الذي يقوم بتوصيلها الى مكان آخر يكون عادة خلية عصبية اخرى . وعندما يصل محور الخلية الى حيث ينتهي فانه يتفرع الى فروع اصغر تلامس « نهايات الادخال » لخلايا عصبية اخرى . وتتكون نهايات الادخال للخلية العصبية من الزوائد الشجرية وجسم الخلية . ويتضح من المشاهدات الميكروسكوبية أن فروع المحور العصبي لخلية معينة تنتهي عادة على هذه الأجزاء من الخلية المستقبلية، لا على محور عصبي آخر . وكل وصلة بين ليف عصبية (محور عصبي) وزائدة شجرية أو جسم الخلية التالية تسمى « سينابس » synapse .

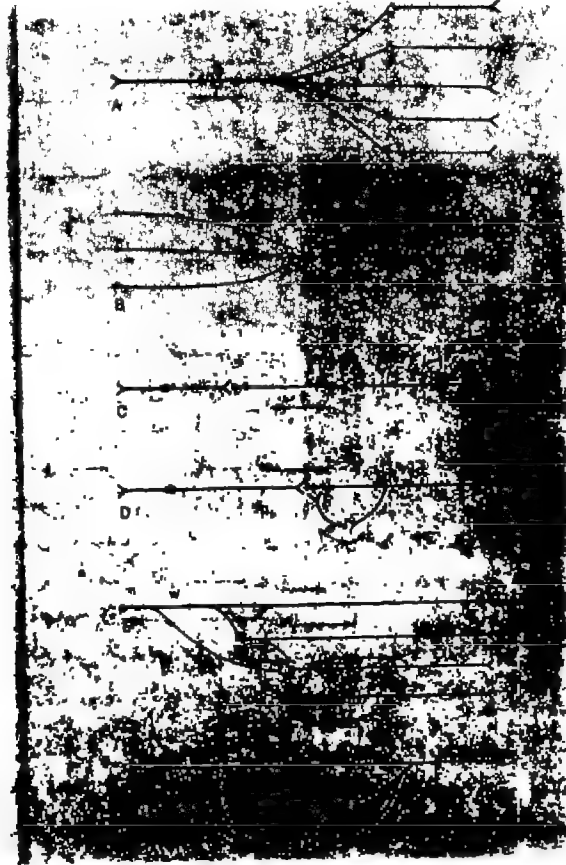
وتختلف سرعة انتشار التيار العصبي في الليفة العصبية (المحور) على عوامل متعددة، منها سمك المحور والخواص الكيميائية والكهربائية له وللوسائل المحيط به . وتنتشر النبضات بسرعة اكبر على وجه العموم في المحور ذي القطر الاكبر . وفي جسم الانسان تختلف سرعة انتشار النبضات من ٢ ميل الى ٢٠٠ ميل تقريبا في الساعة . ومن الخواص الهامة لانتشار النبضات العصبية أنها تبقى محافظة على شدتها على طول المحور .

وعندما تصل الاشارة الكهربائية الى « سينابس » يفصلها عن جسم الخلية التالية أو زوائدها الشجرية فانها تجد الطريق مسدودا أمامها . ويتضح من المشاهدات الميكروسكوبية أن السبب في ذلك هو أن المحور العصبي للخلية الباعثة للنبضة لا يلامس جسم أو زوائد الخلية التالية . فهناك دائما ثغرة عرضها نحو جزء من مليون من البوصة . وتزول شدة النبضة بعد ٥ أو ١٠ ملي ثانية من وصولها الى السينابس (الملي ثانية جزء من ألف من الثانية) . ولن يكون هناك

اثر عام مالم تصل نبضة أخرى (او أكثر) خلال تلك الفترة لتجميع الاثر بحيث يتعدى « العتبة » الخاصة بالسينابس (أي الحد الأدنى للضغط الكهربى اللازم لمرور الإشارة الكهربائية خلال السينابس) . ومن النادر (ان لم يكن من المنعدم) ان تعمل خلية عصبية بتأثير خلية واحدة أخرى . فكل خلية يفصلها سينابس عن كل من عدد من الخلايا . وعندما تصل النبضات من عدد من الخلايا المجاورة في وقت واحد تقريبا (لا يتجاوز . املثانية) فان أثرها يتجمع ويحدث نبضة في الخلية عندما يتعدى العتبة .

على ان بعض النبضات الآتية الى الخلية من خلايا معينة قد تعمل على الاقلال من اثر النبضات الآتية من الخلايا الأخرى . ومعنى هذا ان هناك نوعاً « مانعاً » inhibiting من الخلايا يعمل على تضييع اثر عمل الخلايا « المثيرة » . والخلية المتوسطة interneuron العادية تستقبل عادة اشارات من عدد من الخلايا المانعة بالإضافة الى ما تستقبل من عدد من الخلايا المثيرة ، ولا تنشأ النبضة في محورها الا اذا كان الاثر الكلى يتعدى عتبة السينابس الفاصل .

وفي بعض الظروف يكون من صفات الخلية أن « عتبتها » لا تكون ثابتة القيمة . فاذا كان مجموع اشارات الادخال أقل قليلاً من العتبة اللازمة لارسال نبضة فان إشارة ضعيفة جداً



شكل (١٢) . رسوم توضيحية لبعض « الدوائر العصبية » مما يشبه الى حد كبير تصميم « البوابات » في تصميم كمبيوتر إلكترونى .

من نهاية ادخال اخرى قد تكون كافية لاتمام ذلك الارسال . وبالعكس ، اذا وجدت اشارات مانعة في بعض النهايات فان الخلية قد تصبح غير حساسة بالنسبة لادخالات اخرى مثيرة قد تكون كافية لارسال الاشارة في حالة عدم وجود الاشارات المانعة . كذلك قد يحدث تغير العتبة بتأثير تغيرات في التركيب الكيميائي أو في توزيع التيار الكهربائي في السائل المحيط بالخلية .

وفي كل ما سبق نجد أن الخلية العصبية تشبه الى حد كبير إحدى مكونات كمبيوتر . اذ بتوصيلها مع غيرها بالطريقة الصحيحة فانها ولا شك تكون قادرة على الاتيان بأعمال مشابهة لبعض ما تقوم به مفاتيح كمبيوتر رقمي الكتروني . ففي هذا الأخير توجد دوائر كهربية عديدة بعضها لا يصدر اشارة كهربية نتيجة الادخال فيه الا اذ توفرت شروط معينة . وهذه الدوائر تسمى « بوابات » gates . وتختلف هذه الشروط من بوابة الى اخرى . وهي شروط تشبه تلك التي تكلمنا عنها في حديثنا عن اشارات الخلايا المثيرة واشارات الخلايا المانعة .

على أن للخلية العصبية خواص اخرى . فزيادة معدل نبضات الاخراج بزيادة « سعة » الادخال (أي بزيادة شدة الاثارة) ، والقدرة على جمع وطرح الادخالات المختلفة ، وتأثير تطابق الوقت على صفات التجميع ، وصفة العتبة المتغيرة ، وصفات اخرى كثيرة معقدة لا نذكرها هنا ، تدل كلها على أن الخلية العصبية أكثر تعقيداً من المفتاح الالكتروني الموجود في كمبيوتر .

عمل ادوات الادخال العصبية :

واذا عدنا الى الكمبيوتر الالكتروني الذي يقوم فيه العمل الحسابي على أساس رقمي نجد أنه لا يعمل الا باستخدام شفرة معينة تسمى « لغة الآلة » machine language وكل المعلومات التي يستعملها في عملياته الحسابية والمنطقية لا بد أن تترجم أولاً الى تلك الشفرة قبل ادخالها في الآلة ، كما أن نتائج العمليات لا بد من ترجمتها من لغة الآلة الى شكل يكون مفهوماً خارج الكمبيوتر . وبالنسبة للكائن الحي فان صلته بالعالم الخارجي تتم على نفس هذه المبادئ . فمثلاً يستخدم الكمبيوتر أدوات ادخال مختلفة لتحويل القياسات الحرارية والكيميائية والكهربية الى اشارات « كل / أو / لا شيء » ، ثم يستخدم أدوات اخراج مختلفة لتحويل نتائج الحساب الى العمل التحكمي الملائم ، نجد أن الخلايا العصبية المستقبلية في الكائن الحي ذات أنواع مختلفة يقوم كل منها بعملية من عمليات تحويل الضغوط ودرجات الحرارة والتركيب الكيميائي وغيرها الى النبضات الكهربائية التي يفهمها الجهاز العصبي المركزي ، كما نجد أن الخلايا العصبية الصادرة تترجم المعلومات التي تستقبلها من الجهاز العصبي المركزي في صورة شفرة « كل / أو / لا شيء » الى استجابات عضلية أو غددية مناسبة .

وفي شكل (١٣) بعض النهايات العصبية الحسية الكثيرة الشبوع ، وهي :

أ - مستقبلات لمس تتكون من غمد شعرة مع التركيب العصبي المصاحب . فعندما نلمس شيئاً ينشأ عن حركة الشعرة ضغط كهربائي يتحول في الليفة العصبية الى سلسلة نبضات مما يتكون منه « لغة الآلة » للجهاز العصبي .

ب - كرية ميسنر Meissner corpuscle وهي مستقبلات لمس من نوع آخر يوجد بكثرة في الأماكن البالغة الحساسية للمس مثل الأصابع والشففتين . وينتقل تحرك نهايتها في حالة اللمس عن طريق ازاحة أنسجة الجلد المجاورة .

ج - كرية باسينيان Pacinian corpuscle وتسمى « مستقبلات الضغط » .

ويؤدي الضغط الزائد على الجلد الخارجي الى انزلاق بعض الطبقات على بعضها . وينشأ عن ذلك نبضات كهربية . ولا ينحصر وجود كريات باسيتين تحت السطح الخارجي للجلد ، فهي توجد أيضا في بعض الأعضاء الداخلية للجسم .

د - نهاية عصبية تقوم بعملية التحليل الكيميائي عندما تلامس فئة معينة من الجزيئات الكيميائية ، وهي مما يوجد في غشاء اللسان والأنف . وتصدر هذه النهايات نبضات كهربية نتيجة لذلك التحليل الكيميائي ، ولا تصدرها لاي سبب آخر .

ويقوم عمل الخلايا الحسية على أساس الاحساس للمس أو الاحساس الكيميائي . فنحن نسمع عن طريق للمس . وادوات الإدخال هنا هي خلايا عصبية توجد في طبلة الأذن وتتصل بشعيرات تتأثر باهتزاز الطبلة الناشئة من الموجات الصوتية . أما الإبصار فيحدث بمواد كيميائية . ذلك ان شبكية العين تحتوى على خلايا عصبية على شكل قضبان ومخروطات تقوم بترجمة شكل الضوء والظل الواقع على الشبكية الى اشارات كهربية ترسلها الى المخ . وتتم هذه « الترجمة » بتحليل كيميائي لمواد معينة بتأثير الضوء بطريقة تشبه الى حد كبير ما يحدث من تحليل في الفيلم الفوتوغرافي . وتأثر الخلية العصبية بالمادة الناتجة من التحليل الكيميائي ، لا بالضوء .



شكل (١٣) . ٢ - فهد شجرة مع التركيب العصبى المصاحب له (ب) كرية ميسر المستقبل للمس (ج) كرية باسيتين مستقبل للضغط (د) نهاية عصبية للشحم او اللدق .

عمل ادوات الاخراج العصبية :

يكثر استخدام المواد الكيميائية كوسيط في خلايا الاخراج العصبية ، وهي ما تعرف باسم **الخلايا المؤثرة** effector neurons ويبدأ الامر ببيانات تقدمها خلايا الاستقبال العصبية الى الجهاز العصبي المركزي الذي يقوم عندئذ بمعالجة هذه البيانات وما يتبع ذلك من عمليات التحكم واتخاذ القرارات المناسبة . والنتيجة النهائية لكل تلك العمليات المعقدة هي تغير في حالة استطالة عضلة أو تعديل في عمل غدة . والتغير في استطالة عضلة عملية ميكانيكية . وربما كان تعديل عمل غدة هو أيضاً عملية ميكانيكية ، اذ ان التحكم في عمل غدة قد يتم نتيجة فعل عضلي ينشأ عنه توسيع أو تضيق الاوعية الدموية المتصلة بهذه الغدة .

وكما هو الامر في عمليات اخراج كمبيوتر الكتروني يقوم بالتحكم في عملية صناعية ، نجد ان الاخراج في الجهاز العصبي يتميز باستخدام اشارة كهربية ضعيفة للتحكم في مصدر كبير نسبياً للطاقة من اجل الحصول على نتيجة مفيدة. وفي حالة الكمبيوتر قد تستخدم اشارة التحكم لتشغيل « متابع » relay لكي ينشط محركاً كهربياً قوياً ليقوم بعمل مطلوب . اما في حالة الجهاز العصبي فنجد أن نظير المتابع يكمن في خاصية معينة للنسيج العضلي . فهو ينتقل من الارتخاء الى التوتر نتيجة اطلاق مواد كيميائية معينة بتأثير النبضات الكهربية . والواقع ان العضلات تتكون من حزم من اليااف طويلة رفيعة تشبه الخلايا العصبية الى حد كبير . وتتصل محاور الخلايا العصبية المؤثرة باليااف العضلات عن طريق « سينابسات » بطريقة شديدة الشبه باتصالات الخلايا العصبية الصرفة . وتقوم المركبات الكيميائية بنقل الكهرباء عبر السينابس في حالة الاعصاب ، وفي حالة العضلات أيضاً .

الحبل الشوكي :

يختلف قطر محور الخلية العصبية في الانسان من ٠.٥ ميكرون الى ٢٠ ميكرون (الميكرون جزء من ألف من المليمتر) . وتتجمع المحاور العصبية في حزم تسمى « اعصابا » وتسير في اتجاه واحد مع أنه قد تكون للألياف الفردية في نفس الحزمة وظائف مختلفة . ولل كثير من الاعصاب غطاء رقيق من مادة دهنية بيضاء تسمى « المايلين » myelin وهي مادة عازلة تعمل على منع الاتصال بين اليااف المتجاورة كما تعمل على زيادة سرعة انتشار النبضات الكهربية فيها . وفي الجهاز العصبي يمثل اللون الرمادي والابيض خلافا جوهريا . فالمادة الرمادية تتكون من اجسام الخلايا العصبية . والمادة البيضاء تتكون من اليااف العصبية : والسبب في اللون الابيض هو وجود المايلين الذي يلفها .

واذا ابتدأنا من الخارج متجهين نحو الداخل نجد أن اليااف العصبية تتجمع ، من خلايا متجاورة ، في شكل « عصب » . وفي الحيوانات الفقارية تدخل الاعصاب في العمود الفقاري عند مستويات مختلفة حسب نوعها ، وهناك تتجمع مع آلاف الاعصاب الداخلة عند مستويات أخرى فتشكل معاً « الحبل الشوكي » الذي يصل الدماغ بأجزاء الادخال والاخراج في الجهاز العصبي . وفي الانسان يدخل الحبل الشوكي الى الدماغ مجمعاً بضعة ملايين من اليااف العصبية المنفصلة . ويقوم حوالي نصف هذا العدد بنقل المعلومات الى الدماغ بينما يقوم النصف الآخر بنقل نتائج معالجة الدماغ للمعلومات الى العضلات والغدد . وبالإضافة الى حمل الرسائل العصبية يقوم الحبل الشوكي بمهام أخرى نذكرها فيما يلي :

١ - يصل الحبل الشوكي الياف الخلايا الواردة ، التي يوجد بينها صلة عمل ، بهدف اعادة تنظيم البيانات الواردة من الادخال حتى تكون في شكل مناسب للاستعمال في الدماغ .

٢ - يصل الحبل الشوكي الخلايا الحسية والحركية لتقوم بأفعال انعكاسية بسيطة من انواع مختلفة .

٣ - اذا أثر المرض في بعض الالياف ، او قطعها مبضع الجراح ، فكثيرا ما تقوم الاعصاب بتكوين مسارات اتصال جديدة بطريقة تعيد وظيفة التحكم في الاتصال الى ما كانت عليه كليا او جزئيا .

واذا عمل قطاع عرضي في الحبل الشوكي ظهرت المادة الرمادية على شكل حرف H يشغل نحو ١/٣ المساحة ، اما الباقي فتشغله المادة البيضاء التي تحتوي على الالياف الناقلة للرسائل ، وتقوم المادة الرمادية بوظيفتي النقل المتوسط والتكيف .

الدماغ : Brain

يشغل دماغ الانسان الجزء العلوى من الجمجمة ويزن نحو ٣ أرطال ، وله تقريبا شكل وحجم جوزة هند صغيرة . وهو يتكون من مجموعة من أعضاء أو أجزاء ، تقوم بوظائف مختلفة ، يمكن تقسيمها الى ثلاثة أجزاء رئيسية . فوق الحبل الشوكي مباشرة ، وامتداداً له ، يوجد تكتل من بروزات يعرف باسم « **النخاع المستطيل** » brainstem وفوق النخاع المستطيل ، مع شيء من البروز الى الخلف ، يوجد « **المخيخ** » cerebellum ويتدلى فوق ذلك طبقة من النسيج الرمادى هي « **القشرة المخية** » cerebral cortex وتلأ كل الباقي من الجمجمة . ويرداد سطح هذه القشرة بدرجة كبيرة نتيجة لما يوجد به من تلافيف وتجاويع . وتحت هذه القشرة توجد كتلة من المادة البيضاء ، وظاهرة وجود طبقة رمادية ، تحتها كتلة بيضاء ، ظاهرة عامة في اجزاء الدماغ المختلفة . وتقوم مسارات النسيج الابيض بربط الاجزاء المختلفة من الدماغ ، وهي تتكون من حزم من ملايين الالياف العصبية التي تقوم مقام الاسلاك في الدوائر الكهربائية . واكبر تجمع لهذه الالياف هو ما يعرف باسم « **الجسم الجاسى** » corpus callosum ويربط نصفي الكرة اللذين يؤلفان القشرة المخية . ويقدر عدد الموصلات المنفصلة في الجسم الجاسى



شكل (١٥) تشغل « منطقة الحركة » في المخ شريحة عرضها نحو بوصة . وفي هذه الشريحة يقع « الانسان الصغير » .



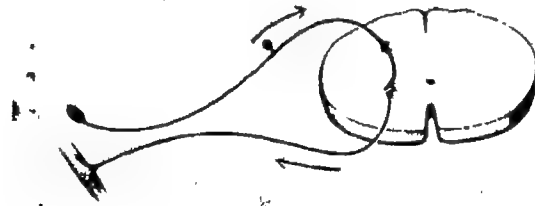
شكل (١٤) « الانسان الصغير » لحركة الانسان .

بحوالي ٣٠٠ مليون . وهناك تجمعات أخرى كبيرة من الألياف تربط النخاع المستطيل بمناطق منفصلة من القشرة المخية .

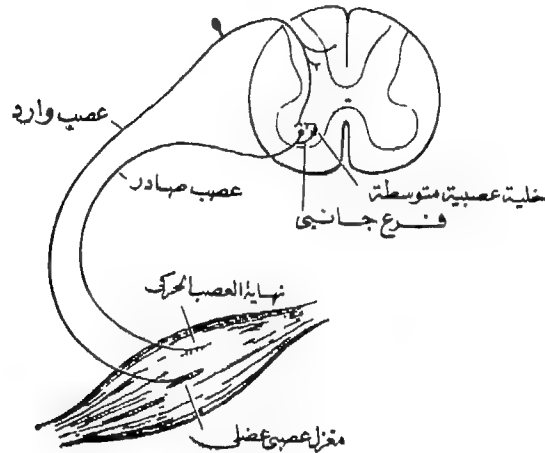
وباستثناء الخلايا العصبية التي تدخل محاورها الطويلة في المادة البيضاء التي تصل الأجزاء المختلفة للدماغ فان خلايا الدماغ لها محاور أقصر بكثير من محاور الخلايا الموجودة خارج الجهاز العصبي المركزي . ومن جهة أخرى نجد ان الزوائد الشجرية في خلايا الدماغ أكثر عدداً . وخلايا الدماغ العصبية ذات أحجام عديدة مختلفة ، ولكن متوسط حجمها أصغر بكثير من متوسط حجم الخلايا الموجودة في باقي الجهاز العصبي . وفي معظم مناطق الدماغ نجد انه يوجد في البوصة المكعبة أكثر من مائة مليون خلية .

ويمكن وصف الدماغ بأنه يتكون من عناصر دوائر متصلة ببعضها البعض ، وكل منها يبعث شكلاً خاصاً به من النبضات الكهربائية الى عناصر أخرى يكون هو بمثابة أداة الإدخال بالنسبة لها . وينطبق ذلك الوصف على الكمبيوتر الرقمي أيضاً .

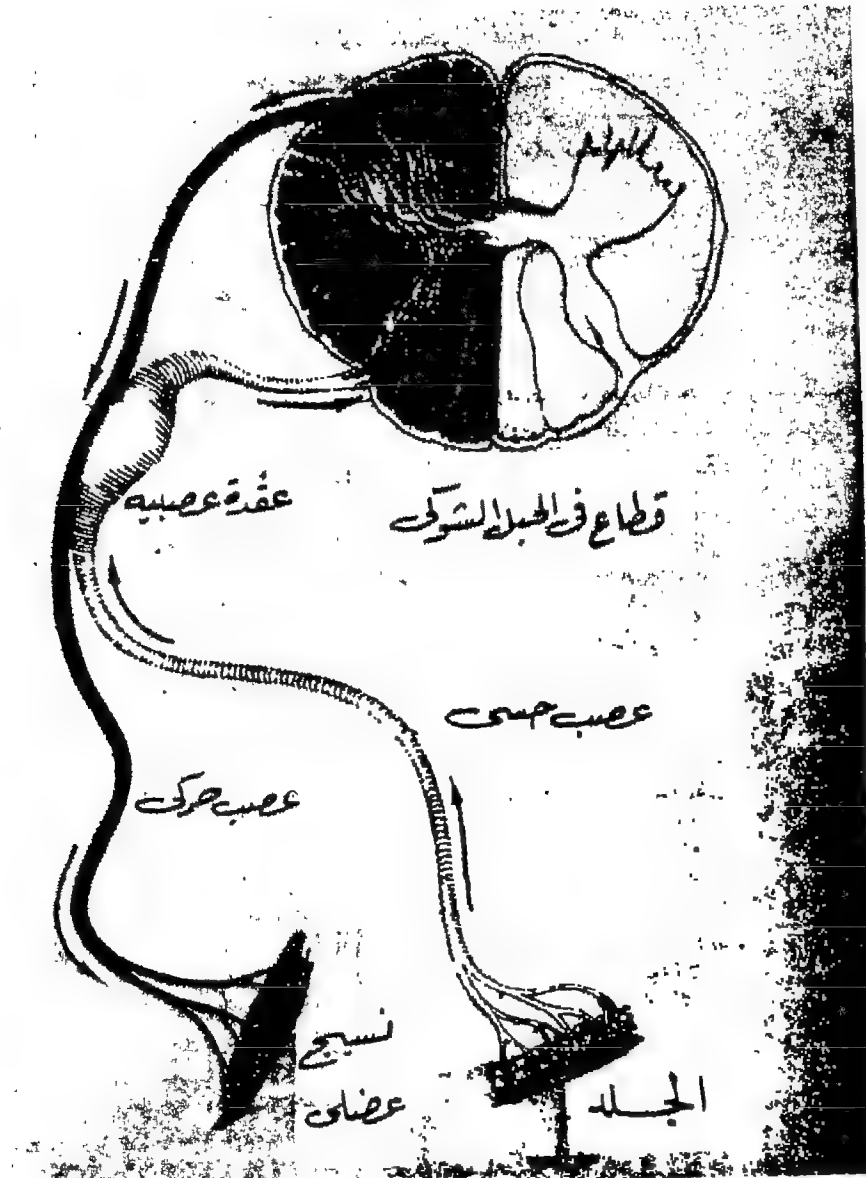
ومن حسن حظ جراحى الدماغ انهم يستطيعون اجراء التجارب على اشخاص وحيوانات وهى واعية ، اذ أنه لا توجد مستقبلات للحس أو الألم في الدماغ . لذلك نجد انه بمجرد ازالة أو رفع الجزء العظمي والغشاء اللذين يحميان مادة المخ الرقيقة ، باستعمال مخدر ، فإنه يمكن ان



شكل (١٦) مسار النبضات العصبية في حركة انعكاسية بسيطة .



شكل (١٧) قوس انعكاسي يتضمن خليتين عصبيتين فقط



شكل (١٨) مجموعة من الأعصاب تكون « القواسم انعكاسية »

يعاد المريض الى وعيه مع امكانه القيام بوظائفه العادية بينما تدفع مجسات في اجزاء الدماغ المختلفة ، وتقاس الضغوط الكهربائية او تستعمل . وفي اثناء ذلك يلاحظ الجراح النتائج . ويكون الجس سلكاً رفيعاً مغطى بمادة عازلة عند نهايته . وعندما يستعمل الجس لقياس ضغط كهربى مما يولد بصفة طبيعية في الدماغ فانه يبعث لأدوات التسجيل بياناً بالجهد الكهربى عند ذلك الجزء من الدماغ الذى تلامسه نهايته بالضغط . اما عندما يستعمل لمعرفة تأثير جهد خارجى فانه يبعث تياراً في منطقة موضعية صغيرة جداً من النسيج .

ومع أن التجارب لا تجرى على الانسان لمجرد كسب المعلومات عن دماغه فانه مع مرور السنوات اجريت على ادمغة الانسان آلاف العمليات اللازمة لازالة أو تخفيف آثار مرضية . وقد وجد الجراحون أن القياسات الكهربائية التي تجرى بالمجسات السابق وصفها قد تكون عوناً عظيم الشأن في تحديد موضع النسيج التالف الواجب ازالته . ولما كان جراحو الدماغ من الباحثين في الغالب فانهم ينشرون عادة نتائج مشاهداتهم ، مما وضع تحت أيدينا مقداراً هائلاً من المعلومات عن عمل الدماغ والجهاز العصبي .

وبالإضافة الى المعلومات التي أمكن الحصول عليها من غرفة العمليات فان الباحثين من علماء الأعصاب قد استفادوا بدرجة كبيرة من أنه يوجد تشابهات في تركيب ووظائف الأعضاء المتناظرة لأنواع الحيوانات التي يوجد بينها علاقات بيولوجية . فبالإضافة الى أن اجزاء دماغ الشمبانزى مثلاً هي نفس اجزاء دماغ الانسان فانها فوق ذلك تشبهها في الشكل ، وتسجل الشواهد العديدة على أنها تكاد تعمل بنفس الطريقة التي تعمل بها اجزاء دماغ الانسان . ولا يختلف دماغ الكلب كثيراً عن دماغ الشمبانزى ، ولا يختلف دماغ القط كثيراً عن دماغ الكلب . ولعله لا يؤمن أن نعلم أنه يمكن معرفة الشيء الكثير عن دماغ الانسان بدراسة دماغ الفأر مثلاً . على أن النتائج التي نحصل عليها من التجارب على ادمغة الحيوان يجب أن تتعرض للاختبارات اللازمة للتحقق من صحتها بالنسبة للانسان . وفي العادة تسنح الفرص من حين لآخر لاثبات صحة الاستنتاجات عن وظائف اجزاء دماغ الانسان من التجارب التي اجريت على الحيوان .

ونتيجة للمعلومات التي تجمعت لدى علماء الدماغ فان هناك الآن « خريطة » لسطح القشرة المخية تبين مواضع اتصال اجزاء الجسم المختلفة بتلك القشرة ، ويطلق على هذه الخريطة او الصورة اسم « الانسان الصغير » homunculus وفي شكل (١٤) تظهر الخريطة مأخوذة في أحد نصفى كرة المخ في قطاع طولي مواز للجبهة ، امام وسط الدماغ مباشرة ، في شريحة ممتدة الى الخارج من الشق الذى يفصل هذا النصف عن النصف الآخر . وعرض هذه الشريحة نحو بوصة . ومن هذه الشريحة تخرج أوامر الحركة الى العضلات . ويتحكم النصف الأيمن من الدماغ في حركات النصف الأيسر من الجسم ، والعكس . ولذلك فان لشكل (١٦) صورة مرآة في جزء المخ الذى يتحكم في النصف الآخر من الجسم ، وتلاحظ أهمية اصابع اليد للانسان بمقارنة جزء المخ الذى يتحكم في حركتها . بذلك الجزء الذى يتحكم في حركة اصابع القدم .

وكما يوجد جزء للحركة على كل نصف من القشرة المخية فانه يوجد جزء للاحساس يحتوى على نهايات الاعصاب الواردة من الجسم . وكل جزء للاحساس يوازي جزء الحركة ويقع خلفه مباشرة .

ولا يقتصر أمر خرائط « الانسان الصغير » على القشرة المخية وحدها . فقد اكتشفت مثل هذه الخرائط في منطقتين أو ثلاث أخرى . فمثلاً هناك « انسان صغير » في المخيخ . وأهميته تعود الى أنه يتحكم في اتزان الانسان بجانب وظائف أخرى .

قنوات التوصيل في الجهاز العصبي :

يقوم نقل المحادثات الهاتفية (التليفونية) في أسلاك التوصيل على أساس طريقتين مختلفتين، تستخدم احدهما في بعض النظم ، وتستخدم الثانية في النظم الاخرى . ذلك أنه :

١ - في بعض النظم يحتوى « الكابل » العام على عدد كبير من **الموصلات** المعزولة التي يقوم كل منها بنقل محادثة واحدة بين طرفين ولا ينقل غيرها الا في وقت آخر .

٢ - في النظم الاخرى يستخدم نفس الموصل لنقل العديد من المحادثات في نفس الوقت . وفي هذه النظم تبعث كل محادثة بدبذبة مختلفة التردد ، وتفرز المحادثات في نهاية الخط باستخدام خلافااتها في تردد الدبذبة .

ويقوم الجهاز العصبي بتوصيل الاشارات العصبية الكهربائية على أساس مماثل للطريقة الاولى ، وهي طريقة يعيها - في الظاهر على الأقل - أنها تحتاج الى عدد كبير من قنوات الاتصال ، ولكنها تمتاز في الواقع بأنها لا تحتاج الا الى نوع واحد من الاشارات . وبذلك نجد أن الرسالة التي يقوم العصب بتوصيلها تقوم على أساس استخدام النبضات الكهربائية ، سواء كانت الرسالة لتوصيل معلومات بصرية ، أو سمعية ، أو حسية ، أو كيميائية ، أو غيرها ، أو كانت لتوصيل أوامر الى العضلات أو الفرد .

والنتيجة الطبيعية لقيام التوصيلات العصبية على هذا الأساس هو أن كل وظيفة من وظائف الجهاز العصبي المركزى يختص بها جزء أو أجزاء معينة منه . فهناك جزء من المخ خاص بالابصار ، وآخر خاص بالشم ، وهكذا .

ويخرج من الدماغ ١٢ زوجاً من « **الاعصاب الدماغية** » تخدم الرأس ، والعينين ، والاذنين ، والحلق ، وبعض الاعضاء في الصدر والبطن . ومن الحبل الشوكي يخرج ٣١ زوجاً من الاعصاب تمر من فتحات بين الفقرات عند مستويات مختلفة ، والعلوى منها ينتهي بعد التفرغ في الجذع والذراعين واليدين ، والسفلى منها ينتهي بعد التفرغ في الحوض والفخذين والساقين والقدمين . وتصل الاعصاب الى كل ملليمتر مربع من الجلد ، والى كل عضلة ، والى كل وعاء دموى ، والى كل عظمة ، والى جميع اجزاء الجسم الاخرى .

وتسير الاشارات من اجزاء الجسم المختلفة عبر الحبل الشوكي أو رأساً الى الدماغ محدثة الاحساسات المختلفة . ومن الدماغ أو الحبل تسير الاشارات الحركية ، أو الاوامر ، للعضلات في الاطراف والقلب والامعاء وغيرها .

ولا يقتصر تلقى الاشارات العصبية على وقت وجود الاخطار ، أو وجود مصدر خارجي للضوء أو الصوت أو الحرارة الخ . . فثناء النوم مثلاً ما كنا لنستمر في التنفس اذا لم تقم مستقبلات حساسة بدرجة كبيرة في الجهاز الدورى بإرسال اشارات الى الدماغ عن زيادة نسبة ثاني اكسيد الكربون في الدم . على أنه لا يوجد فرق أساسي بين اشارات الألم المضمنى الذى يسببه وخز ابرة والفيضان المستمر من الاشارات غير المحسوسة التي تحفظ التنفس . والفرق الأكبر هو أين تبدأ هذه النبضات ، وأين تصل الى وعينا (أن حدث ذلك) وأين تؤثر .

حلقات التحكم التي لا تشمل الدماغ :

يتلقى الدماغ مساعدات من المراكز العصبية الاخرى في تقرير استجابات العضلات والفسدد

للالاثرات الحسية ، وفي التحكم فيها . ونقع بعض الحلقات البسيطة للآثار والاستجابة خارج المخ كلية . ولا تقتصر فائدة هذا الترتيب على ترك الدماغ ليتفرغ للعمليات التي تحتاج الى درجة عالية من التحكم المعقد ، فان قنوات التوصيل القصيرة التي يتضمنها هذا الترتيب تساعد على التعجيل بالاستجابة للآثار . وفي ذلك فائدة عظيمة في بعض المواقف التي لا تتحمل التأخير في الاستجابة .

وعندما تكون الاستجابة اوتوماتيكية وبدون تفكير فانها تسمى « **فعلا انعكاسياً** » . وهناك أمثلة عديدة على ذلك . وبعضها قد كملت دراسته . فعندما تطرق المنطقة الرخوة تحت الركبة بمطرقة من المطاط بشدة فان الساق تغدق الى أعلى . ويلزم للتحكم في هذه العملية سلسلة ، أو « **قوس انعكاسي** » reflex arc من خليتين عصبيتين فقط . (في الواقع توجد أنسجة متوازية كثيرة في كل جزء من سلسلة الخلايا العصبية) . فالصدمة التي تحدثها المطرقة تولد إشارة كهربية في العصب الفخذي femoral nerve وتنقل هذه الإشارة بواسطة الليفة الطويلة للخلية المستقبلية - الموجودة بالنخاع الشوكي . وهناك تمر الإشارة الكهربائية الى خلية صادرة يصل محورها الطويل الى عضلة السمانة في الساق فتنبض محدثة الحركة المعروفة .

وربما كان هناك عدة آلاف من الأقواس الانعكاسية في جسم الانسان . وبعض هذه الأقواس بسيط مثل تلك التي وصفناها الآن ، وبعضها يتحكم في ردود أفعال متعلقة ببعضها الآخر بطريقة تجعلها معقدة .

عمليات التحكم التي تشمل الدماغ :

يتضمن الكثير من الاستجابات الاوتوماتيكية ، التي يتحكم فيها الدماغ ، تنظيم عدد كبير من العضلات المختلفة في وقت واحد . وعمل المخيخ مثال على ذلك . وقد وصف المخيخ بأنه نوع من السكرتير الخاص لنصفى كرة المخ . ويبدو انه يتقبل توجيهات عامة عن طبيعة الحركة التي نريد الاثبات بها ثم يقوم هو بتجهيز تفاصيل المعلومات اللازمة ارسالها الى العديد من العضلات لضمان الأداء المتزن للحركة . وهناك ما يشابه عمل المخيخ في استخدام كمبيوتر للتحكم في قديفة موجهة ، اذ يستخدم هذا الكمبيوتر نظاماً من الأجهزة لفصل الخطوات اللازمة لسير القديفة من وظيفة التحكم العام .

وهناك أمثلة أخرى كثيرة على التنسيق الاوتوماتيكي لحركات العضلات . فعملية استنشاق الهواء يلزمها حركة أكثر من ٩٠ عضلة تقوم بعمليات التمدد والانكماش في تناسق تام نتيجة للإشارات الكهربائية التي يرسلها الدماغ في أكثر من ألف ليفة عصبية .

وهناك من الانعكاسات ما هو جوهري لحفظ صحتنا وحياتنا ، وفيها تؤدي آثار حسية واحدة الى سلسلة معقدة من الأفعال الحركية تربط بعضها البعض مكانياً وزمنياً . وبالإضافة الى أهمية هذه الحركات التحكمية لحياتنا وصحتنا فانها تقدم الدليل على وجود « **برنامج مخزون** » stored program مثل البرامج المخزونة في الكمبيوترات الرقمية . وعمل الفرد الموجودة في الجسم يتم على هذا الاساس .

« البرامج المخزونة » لسلوك الحيوان :

من المعلوم أن الطيور تعطى أمثلة كثيرة على السلوك الخاص المرتبط بالنوع أو السلالة . فهذا النوع من الطيور يمشى على قدميه خطوة فخطوة ، وذلك النوع يقفز باستخدام القدمين

معاً . وبينما نجد أن معظم الطيور تشرب بأخذ الماء في فمها ثم رفع الرقبة والرأس الى أعلى وترك الماء ينزل الى المعدة ، نجد أن الحمام يضع منقاره في الماء ثم يمتصه خلال المريء . وهناك نوع من الطيور يصنع عشه دائماً في تجويف شجرة أو غيرها ، بينما يصنع نوع آخر أعشاشاً بيضاوية الشكل ذات مدخل جانبي ، بين أغصان الأشجار .

ولا يقتصر وجود السلوك الموحد في أفراد النوع أو السلالة الواحدة على الطيور . فحشرة النطاط مثلاً مصنفة الى فصائل حسب طريقة تنظيفها لقرون الاستشعار . فاحدى الفصائل (Arcrididae) تضع ساقاً على أحد قسرون الاستشعار وتنظفه بسحبه بين الساق والأرض . وقصيلة أخرى تشبهها في المظهر (tetrigidae) تنظف قرون استشعارها بضربها بالسيقان التي تنظف بدورها بسحبها خلال الفم . وهناك « الحبار » squid (وهو نوع من الاخطبوط) الذي يقذف الخبر وينحرف صانعاً زاوية قائمة عند الهرب . وهناك كذلك الاخطبوط الذي يبني حائطاً صغيراً من الاحجار يختبئ وراءه .

ولما كانت القدرة على التعلم الى حد ما من الخواص التي تتميز بها نسبة كبيرة من الحيوانات بما في ذلك بعض مما نعتبره من الحيوانات الدنيا ، فمن الواجب دائماً أن نكون على حذر في تفسير السلوك الموحد الذي نشاهده من طائفة من الحيوان ، والا نستبعد أن يكون ذلك نتيجة لتعليم الكبار للصغار ، ما لم يتوفر الدليل على غير ذلك . ولقد بقينا سنين طويلة في الواقع نفترض أن معظم السلوك الموحد للحيوان نتيجة لعمليات تعليمية ، ولم نقرر أن معظم هذه الافتراضات خاطئة الا بعد اجراء التجارب التي تم فيها تربية الحيوان منذ الولادة أو الخروج من البيض دون الاتصال بأي أفراد من نفس النوع . وقد كان الاستنتاج في مثل هذه الحالات أن ما كنا نفترض أنه جاء بالتعليم هو في الواقع موجود في الحيوان عند الولادة ، أو الخروج من البيض ، كشكل كامل تم صنعه من السلوك . فهناك مثلاً طيور معينة من صفاتها بعد الفقس مباشرة انها تقبع او توماتيكيا في عشها اذا مر صقر فوقها . وليس ذلك مجرد استجابة لشيء قائم في السماء . فالشكل يجب ان يكون شكل الصقر ، واذا مر عصفور مثلاً فوق رأس الطائر الحديث الفقس فان ذلك لن يسبب أي رد فعل . واثني طائر الكناريا التي عزلت منذ خروجها من البيضة تبني عشاً بكفاءة في اول مرة تقدم فيها المواد المناسبة وتنشأ فيها الحاجة الى ذلك . ودودة القز تنسج الشرنقة عند حلول طور معين من عمرها مع انها لم تر والديها كما لم تشاهد شرنقة أبداً . ومع ذلك فان الشرنقة التي تنسجها تكون قطعة هندسية رائعة .

ولنفرض الآن اننا تركنا دودة القز تنسج نصف الشرنقة ثم ابعدنا هذا النصف ، فماذا تصنع الدودة ؟ انها لن تبدأ من جديد ، ولكنها ستنسج ما تبقى لها ان تنسجه بالرغم من ان النصف الناتج لن يكون له اية فائدة لحمايتها . واذا عدنا للاخطبوط الذي يبني حائطاً من الاحجار للاختباء وراءه ووضعناه في وسط يحتوى على قطع زجاجية شفافة فماذا يصنع ؟ انه سيبنى الحائط من هذه القطع بدون أي فائدة في حجب وراءه .

ازاء هذه المعلومات وما يشبهها لا يمكننا الاستنتاج ان مثل هذه الاشكال الخاصة والتفصيلية من السلوك موجودة في بناء الحيوان عند الولادة ، وان القوى الموجودة في الجنين لا يقتصر امرها على تحديد شكل الحيوان ولون جلده أو ريشه وملايين التفاصيل الأخرى في جسمه ، ولكنها تحدد ايضا الاتصالات بين خلايا مخه . وصورة السلوك الناتج من ذلك فريدة بالنسبة لنوع الحيوان .

« الروتينات الفرعية » المخزونة لسلوك الحشرات :

على أن استنتاجنا السابق يلقي تحدياً من الصور المتقنة الى درجة غير عادية لسلوك بعض الحشرات ، كالنمل والنحل والزنابير . لقد بقى الانسان سنين عديدة مفتوناً بالصور المعقدة للتصرفات المنظمة لهذه الحشرات ، ورأى فيها عناصر مشابهة لعمليات تفكيره . فهل استنتاجنا السابق خطأ أم صواب ؟

فلندرس مثلاً ما تصنعه انثى الزنبور المعروف باسم زنبور سفكس sphex . عندما يحين وقت وضع البيض تحفر هذه الانثى حفرة لهذا الغرض وتبحث عن صرصار من نوع معين تلدغه بطريقة تجعله يصاب بالشلل ولكنه لا يموت ، ثم تجره الى داخل الحفرة وتضع بيضها بجانبه ، ثم تغلق الحفرة وتطير الى غير رجعة . وعندما يفقس البيض تنفذ صغار الزنابير على الصرصار الذى لم يكن قد تعفن . فهل فعلت انثى الزنبور ذلك نتيجة التفكير ؟ ان تفاصيل عملها لا تدل على ذلك . فمثلاً من روتين عملها ان تجلب الصرصار المشلول الى الحفرة ، وتتركه عند العتبة ، وتدخل لترى أن كل شيء على ما يرام ، ثم تخرج وتجر الصرصار الى الداخل . على أنه اذا ازيج الصرصار بضع بوصات في وقت وجود انثى الزنبور داخل الحفرة فانها عندما تخرج ستحضر الصرصار مرة اخرى الى العتبة ولكنها لن تدخله فيها وانما تكرر عملية دخولها الحفرة لترى أن كل شيء على ما يرام . فاذا ازيج الصرصار مرة اخرى بضع بوصات اثناء وجودها في الحفرة ، فانها ستعيده الى العتبة مرة اخرى ثم تدخل الحفرة لترى ان كل شيء على ما يرام . وقد أميدت هذه العملية ٤ مرة في احدى التجارب ولم تفكر انثى الزنبور في جر الصرصار الى داخل الحفرة مباشرة بعد تأكدها مرات عديدة بان كل شيء في داخلها على ما يرام .

والشخص الذى يقوم بوضع البرامج المعقدة للكمبيوتر الرقعى لن يجد تصرفات انثى زنبور السفكس غريبة عليه . انها تشبه مجموعة من « الروتينات الفرعية » subroutines المسجلة في الذاكرة الدائمة للكمبيوتر والتي تستدعى للعمل بمجرد ظهور شروط معينة لبيانات الإدخال . وفي حالة انثى الزنبور لا بد أن سببا ما ، ربما كان حالتها الفسيولوجية ، سيبدأ سلسلة من الروتينات الفرعية التي تقتزن بتجهيز العش ووضع البيض . واول روتين فرعى يستدعى هو تحضير الحفرة . وعند اكمال هذا الروتين الفرعى يستدعى الروتين الفرعى التالي وهو البحث عن صرصار من نوع معين ثم لدغه . واتمام ذلك يستدعى بدوره احضار الصرصار الى عتبة الحفرة . ووجود الصرصار عند الحفرة هو الاشارة التي تعطى لانثى الزنبور للدخول في الحفرة للاختبار النهائي لها . والخروج من الحفرة ومشاهدة الصرصار عند العتبة هو الاشارة لجره الى الحفرة ، وهكذا . وكل ذلك لا يختلف من حيث المبدأ عما يحدث وقت تنفيذ برنامج معقد على الكمبيوتر الرقعى الالكتروني عندما يقوم البرنامج العام المخزون باستدعاء الروتينات الفرعية اذا توفرت شروط معينة .

وتقوم فكرة « الروتينات الفرعية المخزونة التي تستدعيها اشارات معينة » بتفسير اشكال كثيرة من السلوك الموروث للحشرات .

ومثال ذلك أنه بعد أن تجد النحلة طعاماً وتعود الى خليتها نجد أنها تقوم برقصة مميزة تبلغ بها النحل الآخر عن اتجاه الغذاء المكتشف وبعده ومقداره ونوعه . وتقوم النحلة بنفس الرقصة حتى ولو كان باقى النحل غائبا !

ومن الأمثلة على سلوك الحشرات ، وفق روتينات فرعية مخزونة ، تصرفات ذكر الفراشة

الليبية عند التزاوج . فهو قد يطير ميلاً الى انثاه دون أن يخطيء . على أنه اذا قطع منه قرن الاستشعار ذو الزغب فانه لن يكون عاجزاً عن الوصول اليها وحسب ، بل انه اذا وضع بجانبها فانه سيكون عاجزاً عن التزاوج . وربما كان « زناد » هذه العملية هو اثاره الرائحة عن طريق قرنه الاستشعاري . والرائحة التي تشير الذكريولدها عند الانثى غدتان صغيرتان موجودتان عند نهاية بطنها . ومن الممكن قطع هاتين الغدتين دون أن يصيب الانثى ضرر . واذا قطعت هاتين الغدتان من انثى ووضعتا معها في قفص ثم وضع الذكر معها جميعاً فانه سيثار ، ولكنه سيتوجه الى الغدتين مصدر الاثارة ، ويقوم بمحاولات بالنسبة لمزاوجتها مع تجاهل تام للانثى .

المغزى :

لقد سبق أن رأينا كيف افاد علم الأعصاب من المقارنة التي جاء بها البحث المنشور لعالم الرياضيات فينر ولعالم الفسيولوجيا روزنبولت والمهندس بيجيلو ، تلك المقارنة التي ارتكزت اساساً على بحوث كان قد قام بها المهندسون عن دوائر التغذية المرتدة . وما هذا الا مثال على افادة علم الأعصاب من العلوم الهندسية ، أما في هذا الجزء من المقال فقد أوردنا من خواص الجهاز العصبي وأعماله ما يجعلنا نتساءل : الى أي مدى يوجد التشابه بين الطرق التي يعمل بها الكمبيوتر الرقمي وتلك التي تعمل بها الأعصاب ؟ وما مقدار الفائدة التي نجنيها من معلوماتنا عن « البوابات » في الدوائر الكهربائية للكمبيوتر الرقمي عندما نقوم بدراسة « البوابات » في الدوائر العصبية ، تلك الدوائر التي تشكل جزءاً من نظام في غاية التعقيد لا نعرف عنه الا أقل القليل .

ولعله من المناسب الآن أن نعيد قول بعض رجال العلم من انه اذا رتبنا النظم الاوتوماتيكية تصاعدياً من حيث درجة « الاتمة » فاننا سنجد انه على قمة النظم جميعاً يقبع النظام العصبي للانسان ، وأنه لا يمكن أن يدانيه في هذا الترتيب أي نظام اوتوماتيكي من صنع البشر .

★ ★ ★

٤ - خاتمة : ما هو الجديد الذي جاءت به السيبرنطيقا ؟

يُعتبر روس أشبي W. Ross Ashby واحداً من كبار السيبرنطيقين . وفي كتابه الشهير An Introduction to Cybernetics (١٩٥٦ ، ١٩٧٠) تكلم عن الجديد الذي جاءت به السيبرنطيقا ، وذلك من وجهة نظره بطبيعته الحال . ولعل القارئ يحب أن يقارن انطباعه عن الجديد في هذا العلم الجديد بالافكار الأساسية لواحد من السيبرنطيقين في هذا الصدد . ولذلك رأيت أن أقدم فيما يلي ملخصاً لفصل من الكتاب السابق الذكر بعنوان : « ما هو الجديد ؟ » .

خصائص السيبرنطيقا :

يحمل العديد من الكتب عنوان « نظرية الآلات Theory of Machines » ولكنها تحتوى عادة على معلومات عن أشياء ميكانيكية مثل الروافع والتروس ، والسيبرنطيقا هي الاخرى « نظرية عن الآلات » ولكنها لا تعالج الأشياء ، وانما تعالج طرق السلوك . فهي لاتسال « ما هو هذا الشيء ؟ » ولكنها تسال « ماذا يفعل هذا الشيء ؟ » .

وقد بدأت السيبرنطيقا وهي مقترنة بعلم الفيزياء بطرق متعددة ، ولكنها لا تعتمد ، بأي طريقة جوهرية ، على قوانين الفيزياء أو على خواص المادة . وتعالج السيبرنطيقا كل أشكال

السلوك طالما كان عادياً regular أو مقصوداً determinate أو مما يعيد نفسه reproducible والمادية materiality غير ذات موضوع . وكذلك لا يهم ما إذا كانت القوانين الفيزيائية العادية سارية أم لا . ولا يشترط في حقائق السيبرنطيقا أن تكون مشتقة من فرع آخر من فروع العلم . فللسيبرنطيقا اسمها الخاصة بها .

وهناك الكثير من التشابه بين موقف السيبرنطيقا من الآلة الحقيقية - الكترونية كانت أو ميكانيكية أو عصبية - وموقف علم الهندسة من الشيء الحقيقي في فضاءنا الأرضي (والفضاء هنا معناه الحيز المشغول أو غير المشغول) . وفي سابق الزمان كانت الهندسة تعنى بالعلاقات التي يمكن اظهارها على أشياء في ثلاثة أبعاد أو في رسومات في بعدين . وكانت الأشكال التي تقدمها الأرض - الحيوان والنبات والمعادن - أكبر عدداً وأغنى خواص مما كان يمكن للهندسة الأولية أن تقدمه . وفي تلك الأيام كان الشكل الذي تقترحه الهندسة ولا يمكن اظهاره في الفضاء العادي يُقابل بالشك أو يرفض . فالفضاء العادي كان يسود الهندسة .

واليوم نجد أن الموقف مختلف تماماً . فللهندسة حقوقها الخاصة ، وقوتها الخاصة . ويمكنها الآن أن تعالج بكل دقة عديداً من الأشكال والفضاءات التي تزيد بكثير عن أي شيء يمكن أن يقدمه الفضاء الأرضي . فاليوم نجد أن الهندسة هي التي تحتوى الأشكال الأرضية ، وليس العكس ، فالأشكال الأرضية ما هي إلا مجرد حالات خاصة في الهندسة التي « تتضمن كل شيء » .

وللسيبرنطيقا موقف مشابه في علاقتها بالآلة الحقيقية . فموضوعها هو منطقة « كل الآلات الممكنة » وهي لا تهتم إلا اهتماماً ثانوياً بأن بعضها لم يصنعه الإنسان أو وجد في الطبيعة بعد . وما تقدمه السيبرنطيقا هو الإطار الذي يمكن أن ترتب عليه الآلات الفردية ، ثم توجد العلاقات بينها ، وتفهم .

ومع احتفاظ السيبرنطيقا بهذه الطريقة التي تعنى بالدرجة الأولى بالشمول والتعميم فانها لا تعالج أية آلة خاصة معينة بأن تسأل « ما هو الفعل الفردي الذي تفعله الآن هنا ؟ » ولكن بأن تسأل : « ما هي كل أنواع السلوك الممكنة التي يمكن أن تقوم بها ؟ » .

وتؤدي هذه الوجهة الجديدة للنظر الى التفكير في أنواع جديدة من المسائل . فعلى سبيل المثال عندما كانت وجهة النظر القديمة ترى بويضة تنمو وتحول الى أرنب كانت تسأل « لماذا تفعل البويضة ذلك ؟ - ولماذا لا تبقى بويضة ؟ » وقد أدت محاولات الإجابة على هذا السؤال الى دراسة « معطيات الطاقة » أو « المنشطات energetics » والى اكتشاف أسباب كثيرة لتغير البويضة - فهي تستطيع أكسدة دهنها ، والدهن يعنى الطاقة الحرة ، وهي لها أنزيمات من نوع معين ، وتستطيع أن تمرر مواد التمثيل الأيضي في دورة معينة ، وهكذا . وفي تلك الدراسات كانت فكرة الطاقة أساسية .

على أن وجهة النظر السيبرنطيقية مختلفة تماماً ، وإن كانت صحيحة تماماً أيضاً . فهي تسلم بأن للبويضة طاقة حرة وافرة ، وبأنها متزنة اتزاناً رقيقاً ، قابلاً للانفجار ، من جهة عمليات التركيب والتحليل العضوية . والسؤال الذي تسأله السيبرنطيقا عن نمو البويضة هو « لماذا يكون التغير الى شكل أرنب ، ولا يكون الى شكل كلب ، أو شكل سمكة ، أو حتى شكل وحش مارد ؟ » . وتتصور السيبرنطيقا مجموعة من الإمكانيات أوسع بكثير من المجموعة الفعلية ثم تسأل : لماذا تمثل الحالة الخاصة ، التي هي بصدها ، لقيودها العادية ؟ وفي هذه المناقشة لا تلعب الأسئلة من الطاقة أي دور تقريباً - فالطاقة يسلم بوجودها ببساطة . والمهم هو الى أي مدى

يتعرض النظام للعوامل التي تحدد وتتحكم . وهكذا لا ينبغي أن تمر أى معلومات ، أو إشارة ، أو عامل من العوامل التي تحدد وتتحكم ، من جزء الى جزء بدون أن تسجل كحدث هام .

استخدامات السيبرنطيقا

وينتقل « آشبى » بعد ذلك الى الطريق التي يؤمل أن تقدم بها السيبرنطيقا يد المساعدة . على أنه يقصر اهتمامه على التطبيقات التي يؤمل منها ، أكثر ما يكون ، في العلوم البيولوجية . وبعد أن يلاحظ أنه قد حدث الكثير من التطبيقات المعروفة وأنه لا بد أن كثيراً غيرها سوف يتبع في المستقبل ، يذكر أن هناك فضلين علميين خاصين للسيبرنطيقا يستحقان الذكر الصريح .

والفضلان العلميان الأساسيان للسيبرنطيقا في نظر « آشبى » هما :

١ - أن السيبرنطيقا تقدم قاموساً واحداً ومجموعة واحدة للأفكار يمكن استخدامها لتمثيل أكثر أنواع النظم تنوعاً .

٢ - أن السيبرنطيقا تعطى طريقة للمعالجة العلمية للنظام system الذي يكون فيه التعقيد بارزاً وعلى درجة من الأهمية بحيث لا يمكن تجاهله (وما أكثر ذلك في عالم البيولوجيا) .

ولنتكلم أولاً عن الفضل الأول للسيبرنطيقا :

الى عهد قريب كان يصعب - بدون ضرورة - القيام بأية محاولة لربط الحقائق الكثيرة المعروفة من الأدوات الميكانيكية للضبط والتنظيم ، مثلاً ، بما كان معروفاً عن المخيخ . وكان سبب هذه الصعوبة أن خواص تلك الأدوات كانت توصف بكلمات يشتم منها رائحة الطيار الأوتوماتيكي ، أو جهاز الراديو ، أو الفرملة الهيدروليكية ، بينما كانت خواص المخيخ توصف بكلمات يشتم منها رائحة غرفة التشريح ومخدع النوم - وهى جوانب لا محل لها في مجال المشابهات بين عمل جهاز ميكانيكي للتحكم وبين الانعكاسات المخيخية .

ولقد وجد مرات عديدة في العلم أن اكتشاف علاقة بين فرعين يؤدي الى مساعدة كل منهما في تطور الآخر . وتكون النتيجة في مثل هذه الأحوال تزايداً في سرعة نمو كل من الفرعين . (ومن الأمثلة على ذلك (١) حساب التفاضل والتكامل ، والفلك (٢) الفيروس ، وجزء البروتين . (٣) الكروموزومات والوراثة) . ومع أن كلا من الفرعين لا يستطيع أن يعطى براهين على قوانين الفرع الآخر ، فإن كلا منهما قد يتقدم للآخر باقتراحات مفيدة ومثمرة للغاية . وهنا لا نحتاج الى أن نذكر أن السيبرنطيقا تبشر بأعظم الآمال في اكتشاف عدد كبير من التناظرات بين الآلة والمخ والمجتمع ، وأنها تستطيع أن تعطى لغة مشتركة يمكن عندئذ اكتشافات في أحد الفروع أن يفاد منها في باقيةا .

والآن جاء دور الكلام عن الفضل الثاني للسيبرنطيقا :

في النظم البسيطة لا تبدى طرق السيبرنطيقا في بعض الأحيان ميزة واضحة على الطرق المعروفة منذ وقت طويل . ولكن الطرق الجديدة تبدى قوة ملحوظة عندما تصبح النظم معقدة .

واليوم يقف العلم ، الى درجة ما ، عند مفترق الطرق . فقد بقى قرنين من الزمان يبحث نظاماً هي اما نظم بسيطة الجوهر أو قابلة للتحليل الى مكونات بسيطة . وقد بقيت العبارة « قم

بتغيير عامل واحد من العوامل في كل مرة « شائعة في العلم لمدة قرن كامل . ولم يتضح وجود نظم معقدة لا تسمح بتنفيذ هذه العبارة الا عندما قام السير رولاند فيشر Sir Roland Fisher بأعماله في التجارب على التربة الزراعية . فقد كانت العوامل ديناميكية ومرتبطة ببعضها البعض بطريقة تجعل تغيير أحد العوامل يؤدي في الحال الى نوع من التأثير على العوامل الاخرى . وقد بقي العلم الى عهد قريب يميل الى تحاشي مثل هذه النظم المعقدة ، مركزاً اهتمامه على نظم بسيطة او قابلة للاختزال .

على انه في دراسة بعض النظم لا يمكن تحاشي التعقيد كلية . فمخ الكائن الحي ، وتل النمل كمجتمع يقوم بوظائفه ، والنظام الاقتصادي البشري كانت أمثلة بارزة في كل من أهميتها العملية وفي عدم انصياعها للطرق القديمة . وهكذا نجد اليوم أمراضاً عقلية لا تعالج ، ومجتمعات يعترها الانحطاط ، ونظماً اقتصادية تضطرب ، ولا يستطيع رجل العلم أن يفعل شيئاً أكثر كثيراً من الشعور بتعقد الموضوع الذي يدرسه . على أن العلم قد قام بالخطوات الاولى نحو دراسة « التعقيد » كموضوع قائم بذاته . وتبرز السيبرنطيقا بين طرق معالجة التعقيد . وهي تعطى الأمل في تقديم طرق فعالة لدراسة نظم شديدة التعقيد في جوهرها ، وللتحكم في هذه النظم . وهي ستفعل ذلك بأن تحدد أولاً ما يمكن عمله (فربما كان الكثير من بحوث الماضي يحاول المستحيل) ، ثم تعطى استراتيجيات عامة يمكن استعمالها في العديد من الحالات الخاصة ، وبهذه الطريقة تعطى الأمل لتقديم الطرق الأساسية لمعالجة الأمراض النفسية ، والاجتماعية ، والاقتصادية - التي تهرمنا الآن بتعقد جوهرها .

★ ★ ★

٥ - تذييل : نظرية الاتصال

تعنى « نظرية الاتصال communication theory والتي تعرف في معناها الواسع باسم « نظرية الاعلام information theory باكتشاف القوانين الرياضية التي تحكم النظم المصممة لتوصيل ومعالجة المعلومات . وهي تنشئ مقاييس كمية للمعلومات ، ومقاييس لسعة النظم المختلفة لارسال وتخزين ومعالجة المعلومات . ومن الوسائل التي تعالجها ما يتعلق بإيجاد أحسن الطرق لاستخدام نظم الاتصال القائمة المختلفة ، وأحسن الطرق لفصل الاشارات عن الضوضاء ، ومسألة وضع حد أعلى لما يمكن عمله بقناة اتصال معينة . ويهتم مهندسو الاتصال خاصة بالاكتشافات الرئيسية في هذه النظرية ، على أن العاملين في ميدان علم النفس وميدان علم اللغات قد أفادوا من بعض أفكارها .

و « المعلومات information » في أوسع معانيها تفسر بأنها تحتوى على الرسالة message التي تحدث في أى وسط معتاد للاتصال مثل التلفراف والراديو والتلفزيون ، كما تحتوى على الاشارات signals التي تحدث في الآلات الحاسبة الالكترونية وغيرها من مبتكرات معالجة البيانات ، وكذلك الاشارات التي تحدث في شبكات أعصاب الحيوان والانسان . وليس من الضروري أن تكون الرسالة او الاشارات ذات معنى بالمفهوم العادى للكلمة . فهذه النظرية اذن تختلف اختلافاً بيناً عن نظرية هندسة الاتصال الكلاسيكية التي تعالج المبتكرات المستخدمة ولا تعالج الرسالة موضوع الارسال .

الأفكار الرئيسية في نظرية الاتصال : عندما يتكلم شخص في ميكروفون بمحطة ارسال

فانه يكون هناك « مصدر معلومات » هو الشخص المتكلم ، و « رسالة » هي الصوت الذى يحدثه ، و « مرسل transmitter » هو الميكروفون والمعدات الالكترونية التي تحول هذا الصوت الى موجات لاسلكية ، و « قناة channel » هي الفضاء الواقع بين المرسل وهوائيات الاستقبال ، و « ضوضاء noise » هي التشويش أو الاضطراب الذى يحدث للإشارات أو الرسالة ، و « مستقبل receiver » هو جهاز الراديو المنزلي ، و « رسالة مستقبلية » هي صوت ذلك الراديو ، و « وجهة destination » هي الشخص الذى يستمع الى هذه الرسالة .

وهذا النظام الذى ذكرناه (والذى يتكون من شخص يتكلم فى ميكروفون بمحطة ارسال الخ . .) ما هو الا حالة خاصة من نظام عام يتكون من الاجزاء الرئيسية الآتية :

١ - مصدر المعلومات الذى يقدم المعلومات الخام أو الرسالة .

٢ - المرسل الذى يحول المعلومات الى رموز أو شفرة أو غير ذلك من الصور المناسبة لقناة الاتصال . ويطلق على الرسالة بعد تحويلها اسم « الإشارة » .

٣ - القناة التي ترسل عليها الإشارة الى نقطة الاستقبال . وفى أثناء الإرسال قد تتغير الإشارة أو تشوه (بواسطة التشويش الصوتي فى الراديو ، وبواسطة النقط والخطوط البيضاء فى التلفزيون الخ . .) . ويطلق على آثار الاضطراب اسم « الضوضاء » .

٤ - المستقبل الذى يترجم أو يحول الإشارة المستقبلية الى الرسالة الأصلية أو الى تقريب منها .

٥ - الوجهة أو المستقبل المقصود للمعلومات .

ومن الأفكار الأساسية فى نظرية الاتصال أن المعلومات يمكن أن تعالج مثلما تعالج الكميات الفيزيائية (كالكتلة والطاقة) الى حد كبير .

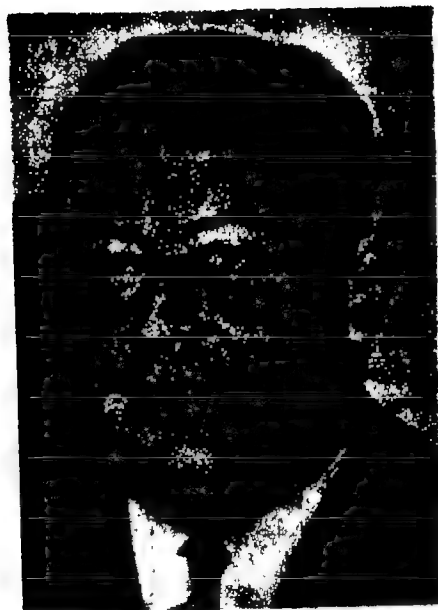
قياس المعلومات : من اللازم أن نوضح أولاً المعنى الدقيق لكلمة « معلومات » من وجهة نظر مهندس الاتصال. اذ غالباً ما تكون الرسائل المراد إرسالها ذات معنى ، فتصف حوادث حقيقية أو ممكنة الوقوع ، أو تتكلم من شيء يتعلق بمثل هذه الحوادث . على أن الأمر ليس دائماً كذلك . فإذا كان هناك أى معنى عند إرسال الموسيقى مثلاً فسيكون أصعب على الفهم منه عند إرسال رسالة لفظية . وفى بعض المواقف يواجه المهندس إرسال سلسلة لا معنى لها من الأرقام والحروف . وعلى أى حال ، ليس هناك صلة بين المعنى وسلسلة إرسال المعلومات . فإرسال سلسلة من المقاطع التي لا معنى لها لا يقل صعوبة عن إرسال نص لغوى سليم (وهو فى الواقع أصعب منه) . والخاصية الهامة للمعلومات من وجهة نظر الإرسال هي أن رسالة خاصة محددة يقع عليها الاختيار من بين مجموعة من الرسائل الممكنة . وما يجب إرساله هو مواصفات للرسالة المحددة التي وقع عليها الاختيار من مصدر المعلومات . وليس من الممكن إعادة تكوين الرسالة الأصلية عند نقطة الاستقبال ما لم يحدث إرسال مثل هذه المواصفات غير المبهمة . وهكذا نجد أنه ينظر الى المعلومات ، فى هذه النظرية ، على أنها اختيار لرسالة من بين مجموعة من الرسائل الممكنة . وبالإضافة الى ذلك ، تحدث هذه الاختيارات باحتمالات معينة ، فبعض الرسائل تتكرر أكثر من الأخرى .

السيبرنطيقا أحدث علوم القرن العشرين

الى اليمين (فوق وتحت) : والد السيبرنطيقا
نوربرت فيشر Nortert Wiener (١٨٩٤ -
١٩٦٤) أشهر علماء القرن العشرين الذين
انجبتهم الولايات المتحدة الأمريكية . لم يكن
يهتم بملايسه دائما .

تحت الى اليسار: جريى وولتر Grey Walter
مدير معهد علم الأعصاب في برستول (انجلترا)
من أشهر علماء السيبرنطيقا وان كان ينتقد
غيره من السيبرنطقيين ، بمن فيهم فيشر نفسه





جون فون نويمان (Von Neumann) (١٩٠٣ - ١٩٥٧)
العالم الأمريكي الهنغاري المولد .
صمم آلة تعيد إنتاج نفسها .



تشارلز بابيدج (Charles Babbage) (١٧٩٢ - ١٨٧١)
عالم الرياضيات الانجليزي ، يعتبر
جد العقول الآلية ، وهي من أهم ما تعنى به
السيبرنطيقا .



جورج بول (George Boole) (١٨١٥-١٨٦٤)
عالم الرياضيات الانجليزي . لم يكن يعلم
بان « الجبر البولي » سيستخدم في تصميم
العقول الالكترونية .



كلود شانون (Claude Shannon) (١٩١٦-)
الاستاذ بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا .
منشوء نظرية الاتصالات الحديثة .



جهاز التحكم الآلي في سرعة الآلة البخارية
الذي اخترعه جيمس وات .



جيمس وات James Watt اخترع في سنة
١٧٩٠ جهاز التحكم الآلي في سرعة الآلة البخارية



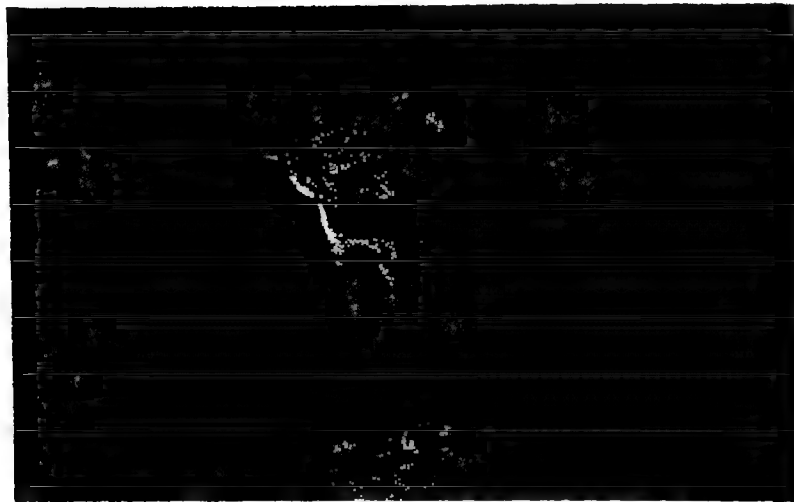
المهندس الفرنسي جوزيف - ماري جاكوار Joseph-Marie Jacquard الذي اخترع
في سنة ١٨٠٤ نولانسج الحرير يقوم بالتحكم التلقائي في العيوط مما أفضى عن عدد كبير
من العمال .



تهتم الدول المتقدمة بأن يقوم الشباب بدراسة أحدث العلوم والمخترعات . ويرى في أعلى تلاميذ إحدى المدارس الامدادية الانجليزية امام كمبيوتر صغير من صنعهم يستطيع أن « يلعب » مباراة في لعبة تسمى « نيم » مما جعلهم يطلقون على هذا الكمبيوتر اسم « نيميترون » nimitron . ويرى تركيب هذا الكمبيوتر من الداخل في الصفحة المقابلة . وتحت صورة ذلك التركيب يرى عالم الرياضيات السوفييتي كولومغروف A.N Kolmogrov (١٩٠٣ -) ، الذي قام بتطوير نظرية الاعلام information theory ، مع تلاميذه من الشباب .



التركيب الداخلى للكمبيوتر العنصرى « نيميترون » من صنع تلاميذ احدى المدارس الاسبانية باثجلترا .

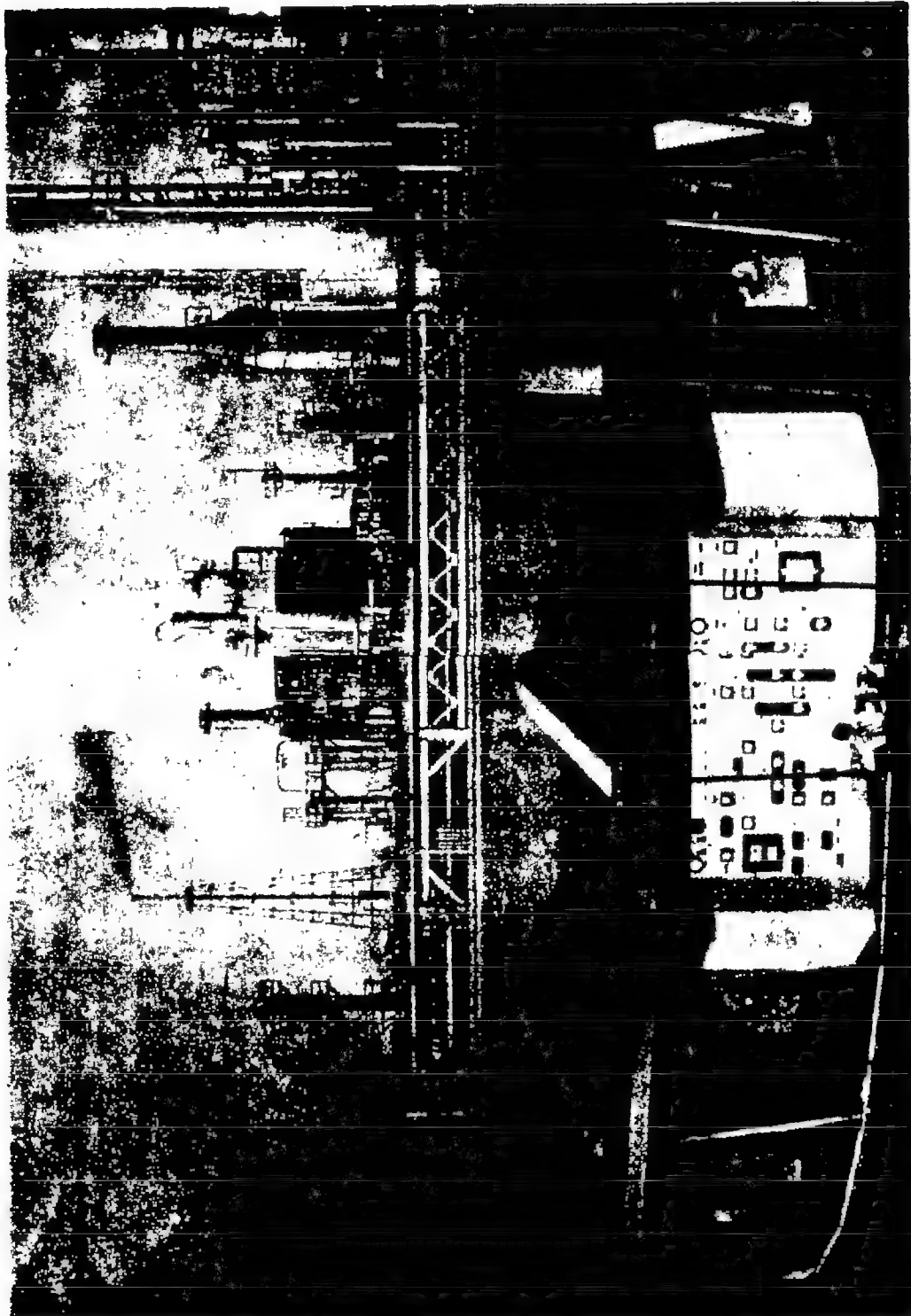


عالم الرياضيات السوفيتى كولوغروف يشرح نظرياته للشباب .



فوق : كمبيوتر « يلعب » الشطرنج . ويقوم هذا الكمبيوتر بحركاته على قرطاس مطبوع عليه لوحة الشطرنج . ومن الممكن أن يهزم اللاعب هذا الكمبيوتر . على أنه ربما أمكن في المستقبل وضع برنامج يجعل الكمبيوتر يهزم أحسن اللاعبين .

الى اليسار : يقوم ثلاثة رجال بالعمل في التحكم الاوتوماتيكي الذي يوجه كل الانتاج في مصفاة لتكرير البترول في مدينة تايلر Tyler بولاية تكساس الأمريكية . وهناك يحول ١٧٠٠٠ برميل من البترول الخام يوميا الى زيت الحركات وبنسزين الطائرات وغيرها من منتجات البترول .

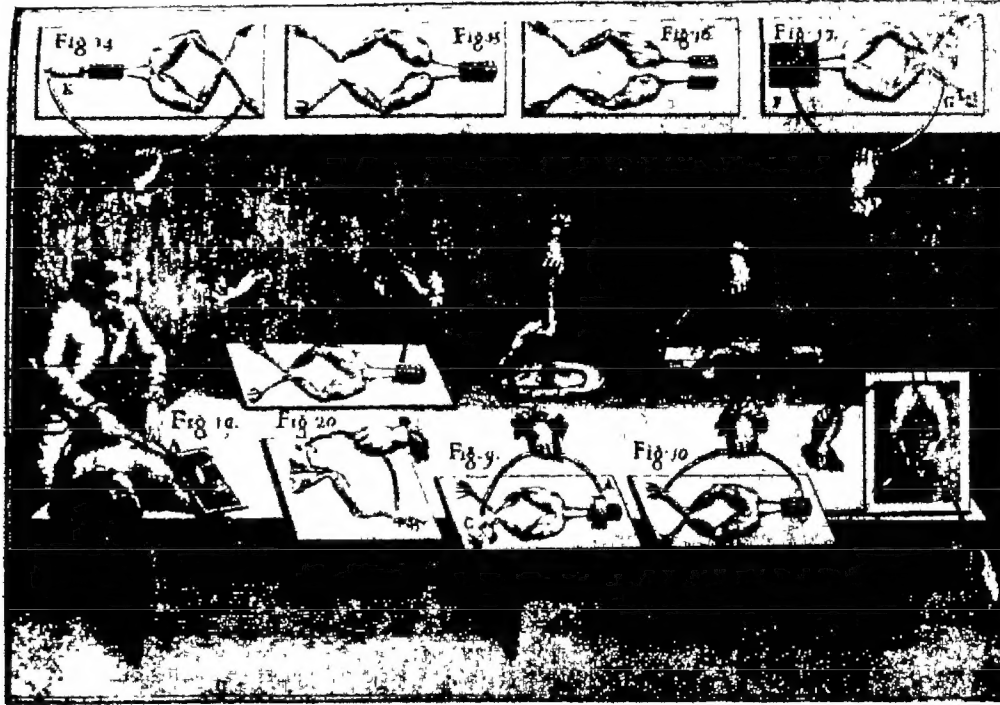




فوق : فانيفر بوش Vannevar Bush امام « المحلل التفاضلي » الذي اخترعه سنة ١٩٢٠ والذي كان اساس العقول الالكترونية التناظرية ، وهي تقوم بدور كبير في « الاوتوميشن » او الصناعة الآلية .

تحت : « معاكى الطيران » flight simulator في منشأة بحوث امريكية لتدريب الطيارين على الافلاخ الرأسى (العمودى) .





ادت تجارب لويجي جلفاني Luigi Galvani علي « كهرياء الحيوان » في اواخر القرن الثامن عشر الى ان يطلق عليه لقب « والد علم الاعصاب الحديث » .



تعنى السيبرنطيقا بدراسة سلوك الحيوان . وهنا في وسط الصورة يرى العالم الروسى بافلوف Ivan Petrovitch Pavlov (١٨٤٩ - ١٩٣٦) الذى قام بدراسات كلاسيكية في هذا المجال .



تقوم البحوث في مناطق مختلفة من العالم لتمويض فاقدى الاطراف والحواس عن نقصهم. وقد اخترع الدكتور بوتوملى Alastair M. Bottomley (الذى يعمل في مركز بحوث المصناعات في مجلس البحث الطبى في لندن) يدا صناعية تعمل بتيارات كهربية صادرة من اعصاب جسم لابسها . ويمكن استبدال هذه اليد باخرى للقيام بوظائف مختلفة . وكذلك قامت « مختبرات بحوث كهرباء الشمال » في اوتاوا بكندا بصناعة ذراع ويد صناعيتين تستخدمهما الطفلة التى تظهر في الصورة القابلة وهى تكتب سمها بالعياشيرة.

اما في لصورة العليا فيظهر جهاز مكسيكي يدمى اموروسكوب Amauroscope يستخدم الخلايا الضوئية لتقليد مخ رجل اعمى باشارات كهربية تسمح له بالتمييز بين صور غير واضحة من الضوء والظل .

السيبرنطيقا أحدث علوم القرن العشرين

الى اليمين : اليه الصناعية التي
اكتشفها الدكتور بوتوملي وتمهيد
باستخدام تيارات كهربائية صادرة من
جسم لابسها .



طفلة تستخدم ذراعا ويذا صناعيتين
تعملان بقوة هيدروليكية من صنع :

Northern Electric Research
Laboratories, Ottawa

المراجع

1. ASIMOV, I. : **The Human Brain** ; Nelson, 1965.
2. ASHBY, W. R. : **An Introduction to Cybernetics** ; Chapman and Hall, 1956, 1970.
3. ATKINSON, P. : **Feedback Control Theory for Engineers** ; Heineman, 1968.
4. BABSKY, E. B. et al : **Human physiology**, Vol. II ; Mir, 1970.
5. BAYLISS, L. E. : **Living Control Systems** ; English Universities Press, 1968.
6. BEER, S. : **Cybernetics and Management** ; English University Press, 1970.
7. BREWER, C. V. : **The Organization of the Central Nervous System**, Heinemann.
8. BROWN, J. A. **Computers and Automation** ; Arco, 1968.
9. CARNE, E. B. : **Artificial Intelligence Techniques** ; Macmillan, 1965.
10. CLARK, J. O. E. : **Computers at Work** ; Hamlyn, 1970.
11. DISTEFANO, J. J. III et al. : **Feedback and Control Systems** ; Mc Graw-Hill, 1967.
12. DOUGLAS, J. D. : **The Technological Threat** ; Prentice-Hall, 1971.
13. EDWARDS, E. : **Information Transmission**, Chapman and Hall, 1969.
14. **ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA** 1967.
15. **ENCYCLOPEDIA AMERICANA** 1962.
16. EVANS, C. R. et al. editors : **Key Papers, Cybernetics** ; Butterworth, 1968.
17. FISHLOCK, D. : **Man Modified** ; Jonathan Cape, 1969.
18. FOSTER, D. : **Modern Automation** ; Pitman and Rowse Mait, 1963.
19. FUCHS, W. R. : **Mathematics for the Modern Mind**, Macmillan, 1971.
20. George : **Cybernetics** ; Teach Yourself Books, 1971.
21. HYDEN, H. editor : **The Neuron** ; Elsevier, 1967.
22. KLIR, J. et al. : **Cybernetic Modelling** ; Illiffe, 1967.
23. LYTEL, A. : **Digital Computers and Automation**, Bobb-Merril, 1966.
24. MARSHALL, W. A. : **Development of the Brain** ; Oliver and Boyd, 1968.
25. MAXFIELO, M. ET al. Editors : **Biophysics and Cybernetic Systems Proceedings of the Second Cybernetic Sciences Symposium**, Macmillan, 1965.
26. MCGRAW-HILL, **Modern Men of Science**, Vol. I, 1966.
27. MONNIER, M. : **Functions of the Nervous System**, Vol. I ; Elsevier, 1968.
28. MORRIS, N. M. : **Control Engineering** ; McGraw-Hill, 1968.
29. NEMES, T. N. : **Cybernetic Machines** ; Illife, 1969.
30. NOBACK, C. H. : **Human Nervous System** ; McGraw-Hill, 1967.
31. NOURSE, A. E. et al. : **The Body**, Time-Life International, 1969.
32. PASK, G. : **An Approach to Cybernetics** ; Hutchinson, 1961.
33. PEDELTY, H. J. : **An Approach To Machine Intelligence** ; Macmillan, 1963.
34. PITMAN, R. J. G. : **Automatic Control Systems Explained** ; Macmillan, 1966.
35. PORTER, A. : **Cybernetics Simplified** ; English University Press, 1969.
36. ROSE, J. editor : **Survey of Cybernetics** ; Illife, 1969.
37. TATON, R. editor : **Science in the Nineteenth Century**, 1965.
38. **Science in the Twentieth Century**. Thames and Hudson, 1966.
39. WIENER, N. : **Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine** ; Wiley, 1961.
40. WIENER et al, Editors ; **Progress in Biocybernetics**, Vol. I, 1964.
41. WOOLDRIDGE, D. E. : **The Machinery of the Brain** ; McGraw-Hill, 1963.
42. Young, J. F. : **Cybernetics** ; Illiffe, 1969.